



**DEPARTAMENTO DE PROSPECTIVA E PLANEAMENTO
E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

**Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território
e do Desenvolvimento Regional**

ENERGIA: GEOECONOMIAS E TECNOLOGIAS – UMA REFLEXÃO PROSPECTIVA –

Documento de Trabalho N^o 3/2008

Lisboa

FICHA TÉCNICA

Título: Energia: Geoeconomias e Tecnologias – uma Reflexão Prospectiva

Autores: José Félix Ribeiro (coordenação)ⁱ
Carlos Figueiredo
Carlos Nunes
Catarina Mendes Leal
Fátima Azevedo
Susana Escária

Editor: Departamento de Prospectiva e Planeamento
e Relações Internacionais
Av. D. Carlos I, 126
1249-073 Lisboa
Fax: (351) 213935208
Telef: (351) 213935200
E-mail: dpp@dpp.pt
www.dpp.pt

Disponível em www.dpp.pt

Edição electrónica: Divisão de Informação e Comunicação

APRESENTAÇÃO

O Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais (DPP) lançou em 2007 uma nova plataforma de informação internacional acessível pela sua página *web* que veio substituir a publicação “Informação internacional. Análise Económica e Política” editada durante catorze anos pelo DPP (1994/2006).

Esta nova plataforma, designada *Da Sphera*, procura cobrir uma ampla área de assuntos de natureza internacional com relevância para Portugal, em torno de dois temas principais: “Sustentabilidade e Inovação” e “Globalização e Competitividade”.

Durante o ano de 2007 e no primeiro semestre de 2008 foi elaborado um conjunto de textos analíticos sobre **questões energéticas**, seleccionadas como tema unificador deste primeiro ano de existência desta plataforma de informação. Assim, foram sendo publicados os seguintes documentos: Segurança Energética e Reorganização Empresarial do Sector Energético a Nível Mundial; Gás Natural no Século XXI: Uma Visão Geoeconómica; Geoeconomia do Gás Natural e a União Europeia; Relatório Stern – Uma Síntese; Plataformas Tecnológicas: Como se organizam em torno das Tecnologias Energéticas?; O *Cluster* das Energias Renováveis – Uma Comparação das Experiências em Várias Regiões da Europa e do Canadá; A Economia Baseada no Hidrogénio: O Caminho para um Novo Paradigma Energético?; EUA, Japão e União Europeia – Três Pólos Energéticos e Tecnológicos – Três Estratégias; Tecnologias Energéticas e Modelos Urbanos: Alternativas Para a Sustentabilidade das Cidades.

É, neste contexto, que se enquadra a realização, em Março de 2008, de um workshop contando com a participação de técnicos do DPP e de peritos externos (de empresas do sector energético e de universidades) em que foram apresentados e discutidos dois exercícios de cenarização sobre o(s) futuro(s) do Sistema Energético Mundial, quer sob a óptica geoeconómica, quer sobre a óptica tecnológica.

O documento de trabalho que agora se apresenta reúne os textos apresentados nesse workshop com os referidos exercícios de cenarização, respectivamente, “Energia e Globalização” (Secção I) e “Energia e Tecnologia” (Secção II), aos quais se adicionou, posteriormente, uma breve reflexão sobre o formato do regime internacional de mitigação das alterações climáticas para o período pós-Quioto (Secção III) que acelerasse a evolução tecnológica, por forma a permitir, no longo prazo, uma redução muito pronunciada das emissões de gases com efeito de estufa.

ÍNDICE

I. ENERGIA & GLOBALIZAÇÃO

1. A Estrutura do Sistema Energético Mundial – Um Apontamento Introdutório	3
2. O Período 2007/2015 – Uma Antecipação para o Petróleo	12
3. Petróleo e Gás Natural no Horizonte 2030 – Uma Acumulação de Incógnitas	18
3.1. Uma Acumulação de Incógnitas	18
3.2. Identificando as Incertezas Cruciais e as Configurações da sua Resolução	19
3.3. Explicitando as Causalidades Consideradas	21
3.4. Seleccionando Quatro Cenários	22

II. ENERGIA & TECNOLOGIA

1. Introdução	33
2. Construção da “Carteira de Tecnologias” Disponível	35
2.1. A Economia do Metano	36
2.2. A Economia do Carvão	37
2.3. A(s) Economia(s) do Nuclear	39
2.4. A Economia das Renováveis	44
2.5. Os Biocombustíveis e a Mobilidade Sustentável	46
2.6. Síntese – Uma Carteira de Tecnologias em Diferentes Horizontes Temporais	47
3. Situando as Tecnologias face às Forças Motrizes – As Limitações da Actual “Carteira de Tecnologias”	49
4. Trajectórias Tecnológicas – Horizonte 2030 – Construção de Cenários Contrastados	54
4.1. A Dinâmica Evolucionária	54
4.2. Construção de Cenários	55
4.3. Seleccionando Quatro Cenários	56

III. ENERGIA & SUSTENTABILIDADE – QUE REGIME PÓS-QUIOTO?

1. Restrições na Oferta de Petróleo e Gás Natural e Combate às Alterações Climáticas	67
2. As Limitações Actuais das Tecnologias Energéticas	68
3. Como Financiar o Desenvolvimento das Tecnologias que Permitam Combater no Longo Prazo as Alterações Climáticas?	73

I. ENERGIA & GLOBALIZAÇÃO

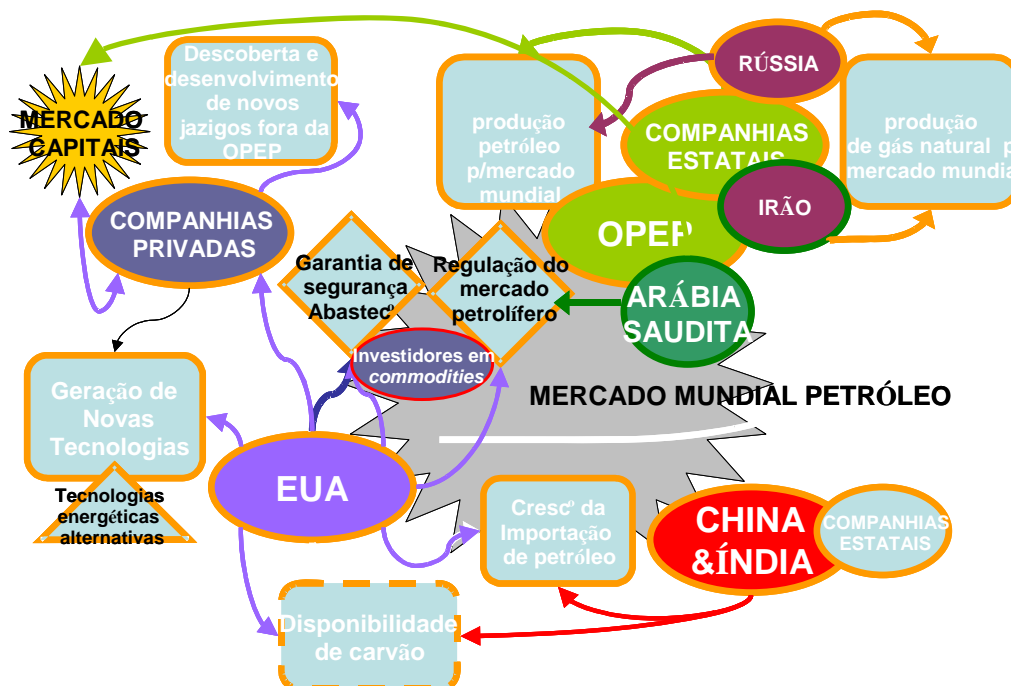
1. A ESTRUTURA DO SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL – UM APONTAMENTO INTRODUTÓRIO

No **Sistema Energético Mundial** distinguem-se um conjunto de Funções desempenhadas por distintos actores – empresariais e estatais. Essas Funções podem organizar-se em torno dos seguintes temas:

- ◆ **Geração de procura de petróleo e gás natural** dirigida ao mercado mundial - dominada pelas economias grandes consumidoras e/ou grandes importadoras;
- ◆ **Oferta de produção de petróleo e gás natural** destinada ao mercado mundial;
- ◆ **“Produção” de novas reservas de petróleo e gás natural** por descoberta de jazidas;
- ◆ **Geração de novas tecnologias** de prospecção e exploração de petróleo e gás natural, incluindo as que permitem melhorar o rendimento de jazidas em exploração e aumentar o volume de reservas conhecidas;
- ◆ **Regulação de curto prazo** do mercado mundial de petróleo, sob o ponto de vista físico (quantidades transaccionadas);
- ◆ **Oferta de “serviços” de segurança de abastecimento energético**, quer oferecendo protecção militar a países produtores, quer garantindo a segurança das *Sea Lanes of Communication* (SLOC) que permitem abastecer os principais países consumidores;
- ◆ **Geração de tecnologias** que dispensem a utilização ou reduzam a necessidade de utilização de petróleo e gás natural;
- ◆ **Utilização do petróleo como activo financeiro e reserva de valor** mediante a intervenção nos mercados financeiros da energia (vd. mercado de futuros);
- ◆ **Controlo sobre reservas de outros combustíveis fósseis** parcialmente concorrentes com o petróleo e/ou gás natural.

A Estrutura do Sistema Energético Mundial é composta por um conjunto de **Actores, Relações e Processos** que concretizam aquelas **Funções** e de **Mecanismos de Regulação** que permitem reduzir as tensões entre objectivos contraditórios dos principais Actores.

FIGURA I
FUNÇÕES E ACTORES NO SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL – UMA IMAGEM SIMPLIFICADA



Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

Indicam-se seguidamente as principais características actuais dessa Estrutura:

1. Os principais países consumidores de petróleo são os EUA, a China e o Japão, mas com o crescimento mais rápido da procura que dirigem ao mercado mundial de petróleo e gás natural, encontram-se a China e a Índia, estimando-se que em 2020 – se não houver interrupções graves nos seus processos de crescimento – venham a importar quatro vezes mais do que actualmente (20 milhões de barris/dia a comparar com os 5,4 mb/ actuais); EUA, China e Índia detêm as maiores reservas mundiais de carvão.
2. Os países da OPEP e a Rússia controlam a maior “fatia” de reservas de petróleo e gás natural disponíveis para se transformar em exportações para o mercado mundial; e são as companhias nacionais da OPEP e do espaço ex-URSS que controlam a maior parte dessas reservas.
3. Os países da OPEP e a Rússia não têm interesse num esgotamento rápido das suas reservas, em particular se dispõem de grandes populações e revelam fortes ambições militares. A Rússia pretende reforçar a integração da produção dos países da Ásia Central no seu próprio dispositivo como forma de melhor gerir a entrada na fase de maturidade das suas regiões energéticas tradicionais. O nacionalismo na gestão dos recursos energéticos por parte destes países traduz-se também em elevados níveis de ineficiência que limitam a sua capacidade de aumento de produção.

4. As companhias de petróleo estatais dos países produtores, quer os da OPEP, quer a Rússia (NOC – *National Oil Companies*), investem sobretudo no interior destes países, necessitam da tecnologia disponível das companhias privadas ocidentais se quiserem melhorar significativamente eficiência das suas operações e descobrir mais reservas (nomeadamente no que se refere às tecnologias *offshore* e às tecnologias de exploração avançada dos jazigos), com quem, no entanto, querem partilhar o menos possível da renda petrolífera.

5. As companhias estatais dos países da OPEP são instrumentos de políticas dos Estados, canalizando assim uma parte significativa dos seus lucros para o financiamento das políticas sociais, de infra-estruturas e de segurança dos respectivos Estados, e não para o reinvestimento prioritário na prospecção e exploração nos seus próprios territórios.

6. As companhias nacionais das economias emergentes – China e Índia – sendo também companhias estatais (NOC – *National Oil Companies*), têm objectivos diferentes das companhias nacionais dos países OPEP já que pretendem antes de mais ampliar o mais possível a base de produção não OPEP, de preferência a que se localize no seu território, (incluindo na plataforma continental) ou a que possa ser desenvolvida em países não OPEP que aceitem a presença de investimento directo estrangeiro no *upstream* e formas de partilha de resultados mais favoráveis. No entanto, procuram também chegar a alianças de fornecimento e de investimento com as NOC´s dos países da OPEP ou da Rússia. Mas no longo prazo precisam das companhias privadas ocidentais para a prospecção e exploração dos seus *offshore* e competem com elas no acesso a reservas em países não OPEP.

GRÁFICO I

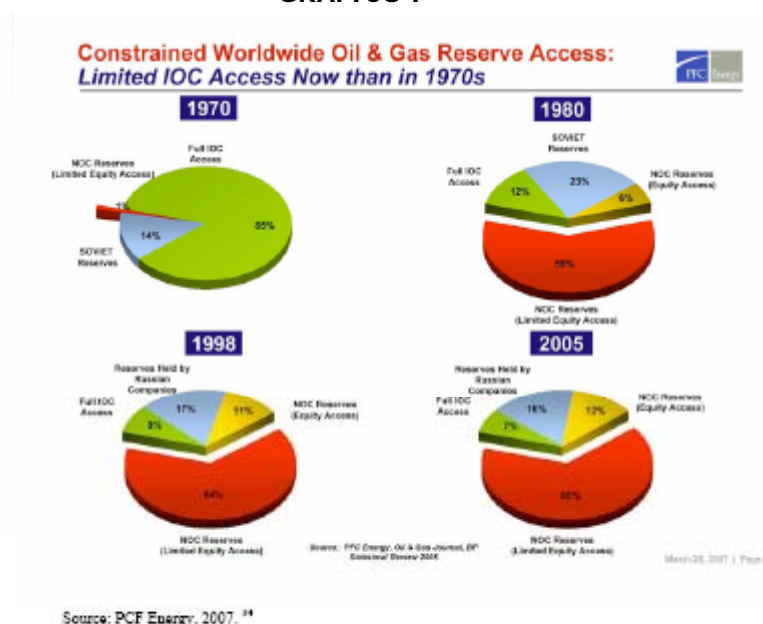


Figure 9. Access World Proved Oil Reserves

Fonte: NPC, "Global Access to Oil and Gas", 18/07/07, p.11.

7. As companhias petrolíferas e de gás privadas (IOC – *International Oil Companies*) são tradicionalmente as principais responsáveis pela descoberta de novos jazigos de petróleo e gás natural fora da OPEP e da Rússia, e as suas decisões dependem da sua rentabilidade comparada nos mercados de capitais; o aumento de custos de descoberta e exploração de novos jazidas, as dificuldades em entrar em novas regiões produtoras e a necessidade de valorizar as suas acções no mercado têm levado a que várias delas reduzam o investimento em prospecção, “devolvam” aos accionistas parte dos resultados excepcionais dos últimos anos de altos preços, sob a forma de dividendos e de aquisição de acções próprias e procurem ampliar a sua base de reservas através de fusões e aquisições; conforme se pode ver no Gráfico I, as IOC são hoje completamente minoritárias em termos de detenção de reservas, quando comparadas com as NOC (*National Oil Companies*).

8. A transferência parcial do consumo do petróleo para o gás natural como hidrocarboneto mais procurado pelas economias desenvolvidas, por razões ambientais e de maior eficiência económica na produção de electricidade (com as tecnologias de centrais de ciclo combinado utilizando o gás natural) altera a geoeconomia da energia, ao colocar a Rússia, o Irão e o Qatar como principais detentores de reservas de gás natural, em contraste com o que se passa no petróleo em que a Arábia Saudita ocupa a destacada posição de líder (o que não se repete a nível do gás natural).

9. A Rússia é o maior detentor de reservas de gás natural mas depara-se com problemas quanto ao nível de produção que as suas actuais jazidas em exploração permitem obter no médio prazo, o que por si limita a capacidade de, desde agora, ampliar o volume de contratos de fornecimento de gás a outras regiões do mundo que lhe permita deter uma quota de mercado compatível com a superioridade das suas reservas; tal vai obrigá-la a controlar o máximo que puder da produção dos Estados da Ásia central ex-soviética por forma a poder colocar no mercado mundial uma parte maior da sua produção, sem pôr em risco o abastecimento interno.

10. A transferência procura de petróleo para gás natural nas utilizações em que podem estar em concorrência pode encontrar dificuldades no futuro pela necessidade de volumosos investimentos no desenvolvimento e exploração de jazidas e em infra-estruturas de grande porte para o transporte do gás, que os países detentores de reservas não têm capacidade para realizar sem recurso aos capitais e à garantia de mercado dos países desenvolvidos de quem, por outro lado, não querem ficar dependentes.

11. As economias emergentes da Ásia disputam entre si o acesso privilegiado a jazigos de petróleo e gás natural situados em países terceiros, competindo, entre si e com os EUA, pelo controlo de novas reservas nalgumas das regiões em que se localizam esses países; mas fazem-no até agora por formas que não envolvem a expansão territorial ou “imperial”.

12. EUA, China e Índia detêm as maiores reservas mundiais de carvão, pelo que têm como alternativa principal ao consumo de petróleo e gás natural um combustível cuja utilização com as tecnologias actuais, é muito mais poluente que a do petróleo e gás natural; a partir de 2012, com a entrada em demonstração do projecto americano FUTUREGEN abre-se uma nova era de aproveitamento multifacetado do carvão (produção de electricidade, de combustíveis sintéticos e de hidrogénio) em associação com *fuel cells* em aplicações estacionárias e com soluções de captação e sequestração de CO₂.

13. A Arábia Saudita e os EUA detiveram até agora o papel fundamental de reguladores conjunturais do mercado, por via da existência de capacidades excedentárias de produção na Arábia Saudita e da dimensão das reservas estratégicas dos EUA (quando a Administração dos EUA aceite utilizá-las para intervir na regulação conjuntural do mercado); mas o crescimento rápido da procura da Ásia e o limitado aumento de oferta por parte dos países OPEP reduziu inexoravelmente essa capacidade excedentária; enquanto que a tentativa dos EUA de romper o modelo OPEP no Iraque com a abertura do sector petrolífero upstream deste país às *International Oil Companies* (e eventualmente às NOC das economias emergentes da Ásia), em total contraste com o que se passa nos restantes países do Golfo, criou uma desconfiança duradoura da Arábia Saudita face aos EUA.

14. Os EUA têm desempenhado a função de “garante em última instância” da segurança no Golfo Pérsico e nas principais rotas de abastecimento de petróleo e gás natural, a nível mundial; prosseguem o objectivo de impedir que um poder rival se torne dominante no Golfo Pérsico e, simultaneamente, ameaça a segurança de Israel.

15. Os mercados de capitais dos EUA têm sido historicamente o local onde se realiza a reciclagem dos excedentes petrolíferos não consumidos pelos países árabes da OPEP, embora mais recentemente tenha afirmado um novo processo de reciclagem por via do investimento na Ásia, embora sem as características “abertas” características das operações de mercado (vd. Caixa I).

16. Os EUA e as principais IOC lideram a geração de novas tecnologias para prospecção e exploração petrolífera, concentram em conjunto com Canadá a capacidade tecnológica para a exploração de formas não convencionais de hidrocarbonetos (areias e xistos betuminosos, *ultra deep offshore*, *coal bed methane*, etc.) bem como têm um dos mais extensos e articulados programas de desenvolvimento de novas tecnologias energéticas que podem vir a reduzir a dependência dos países desenvolvidos face ao petróleo.

17. A cooperação internacional em torno da redução de gases com efeito de estufa vai reforçar o desenvolvimento de tecnologias que superem a necessidade de queima maciça de combustíveis fósseis. A conjugação de elevados preços do petróleo e do gás natural, com a eventual introdução de um preço para o CO₂ acelerará o desenvolvimento de novas tecnologias energéticas, que irão reduzir as necessidades de combustíveis no mundo desenvolvido e incentivar a maior eficiência energética nas economias emergentes.

OS PREÇOS DO PETRÓLEO E A RECICLAGEM DOS PETRODÓLARES – OLHANDO PARA O FUTURO¹

Os preços elevados do petróleo traduzem-se em impostos pesados sobre os consumidores, gerando rendimentos inesperados para os países exportadores de petróleo, tornando-se, em 2006, na maior fonte mundial de fluxos de capitais líquidos, ultrapassando a Ásia, pela primeira vez, desde a década de 70. A maioria destes rendimentos tem sido reciclada nos mercados financeiros globais, tornando os investidores dos petrodólares em *players* cada vez mais poderosos.

É provável que a influência dos investidores dos petrodólares continue a crescer, pelo menos nos próximos cinco anos. A amplitude exacta dos investimentos com esta origem dependerá dos preços do petróleo, os quais são ainda objecto de alguma incerteza. No entanto é possível estimar, em termos gerais, a direcção dos activos dos petrodólares utilizando três preços muito diferenciados e pesquisando a procura global de energia através de um estudo do *McKinsey Global Institute* (MGI).

Se o barril estiver a US\$ 50, o capital líquido anual saído dos países petrodólares chegará aos US\$ 387 biliões/ano até 2012. Este total representa uma infusão extraordinária de capital nos mercados financeiros a uma taxa de mais de US\$ 1 bilião/dia. A US\$70 o barril, a presença dos petrodólares nos mercados globais cresce ainda mais, alcançando US\$ 628 biliões/ano em 2012, o que implicará novos investimentos dos petrodólares de praticamente US\$ 2 biliões/dia. Em 2012 o stock total dos activos estrangeiros detidos pelos investidores dos países produtores crescerá até US\$ 6,9 triliões. Mesmo que os preços do petróleo declinem para os US\$ 30 o barril, os activos estrangeiros dos petrodólares crescerão a uma taxa média robusta de 6% por ano, alcançando os US\$ 4,8 triliões em 2012, quando os países produtores de petróleo acrescentarão US\$ 147 biliões ao sistema global financeiro.

“This flood of oil money is creating new dynamics, and the rise of petrodollar investors feeds growing concern about their government connections and influence on markets. Since facts about these powerful new investors have been scarce, our research aims to ground the debate by providing new data and analysis”².

Segundo Diana Farrel e Susan Lund os investidores das nações exportadoras de petróleo possuíam entre US\$ 3,4–3,8 triliões em activos financeiros estrangeiros. Estes activos são investidos internacionalmente de diversas formas: bancos centrais, *sovereign wealth funds*, companhias de investimento governamentais, de indivíduos multimilionários, de companhias e holdings estatais e de companhias privadas.

Os anos recentes foram caracterizados por um conjunto de evoluções:

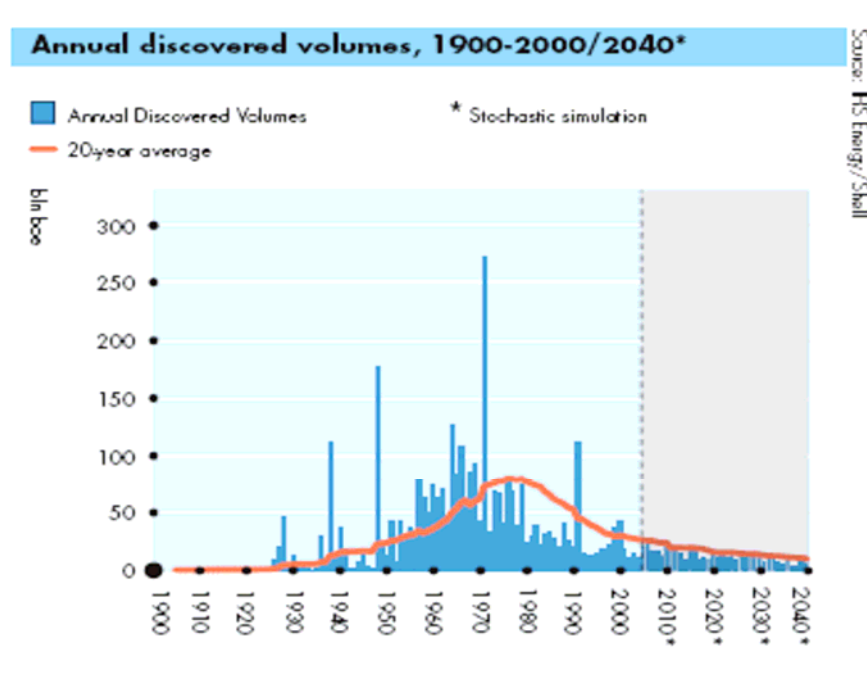
- ◆ o forte crescimento das economias asiáticas, nomeadamente da China e da Índia, menos afectadas pela crise asiática de 1997/8, explica a maior parte do crescimento da procura de petróleo e gás natural; conjugam-se Industrialização, Urbanização e Motorização para gerar esse forte ritmo de procura;

1 Cf. Diana Farrel; Susan Lund, “The New Role of Oil Wealth in the World Economy”, in The McKinsey Quarterly, (Jan. de 2008), [on-line], Disponível em <http://www.mckinseyquarterly.com>

2 Diana Farrel; Susan Lund, Op. Cit.

- ◆ o ritmo de descobertas de novos jazigos de petróleo nas últimas duas décadas não tem sido suficiente para compensar a redução de produção da actual base de produção, em que se assiste à chegada à fase de maturidade de províncias petrolíferas inteiras exteriores ao controlo da OPEP (ex. Mar do Norte, Alasca);

GRÁFICO II



Fonte: Shell, 2007.

- ◆ a elevação contínua do EROI (*energy return on investment*) apontando para uma cada vez maior "fatia" de recursos financeiros que tem que ser alocado ao desenvolvimento da oferta energética para se obter um mesmo crescimento do produto a nível mundial;
- ◆ uma quebra acentuada do investimento em prospecção e exploração por parte das companhias privadas durante segunda metade dos anos 90; a concorrência com as *internet companies* e as empresas de tecnologias de informação no mercado bolsista levou as companhias energéticas a seguirem uma agressiva política de dividendos e de aquisição de acções próprias para valorizarem as suas acções, reduzindo o investimento em prospecção exploração, decisão que se reforçou com a queda do preço do petróleo em 1997/8 que chegou a transaccionar-se a 8 US \$/bbl. Existem estimativas que apontam para que o nível de investimento actual quer no petróleo, quer no gás natural está 20% abaixo do que seria necessário para responder ao crescimento da procura mundial e evitar uma ruptura de abastecimento que pode acontecer até 2015 caso o consumo não sofra uma redução forte;

- ◆ uma estratégia concertada da OPEP sob direcção da Arábia Saudita no sentido de recuperar da quebra calamitosa dos preços que acompanhou a crise asiática de 1997 e o erro de avaliação anterior da OPEP ao ter decidido aumentar a produção na expectativa da continuação do crescimento anterior da Ásia;
- ◆ uma redução da capacidade excedentária da OPEP, tornando mais difícil a regulação do mercado e tornado-o mais vulnerável a movimentos especulativos;
- ◆ a existência de défices de capacidade de refinação nos países consumidores (recorde-se que na Europa e nos EUA há 30 anos que não se constroem novas refinarias) é agravada pela chegada ao mercado de petróleos cada vez mais pesados que exigem reformulação das refinarias existentes e/ou instalação de novas;
- ◆ uma aguda falta de quadros especializados no sector e limitações de capacidade dos principais fabricantes de equipamentos para a indústria petrolífera e do gás constituem outro factor de travagem a aumentos rápidos de capacidade de produção e refinação de petróleo ou liquefação de gás natural, para além de aumentarem os custos de investimento e de exploração;
- ◆ um aumento do risco político, quer pelas tensões acumuladas na principal região exportadora – Golfo Pérsico – quer pelo agravamento de insegurança noutros produtores, especialmente na Nigéria;
- ◆ uma abundante liquidez a nível mundial, num contexto de poucas oportunidades de aplicações de elevada rentabilidade, orientou volumes significativos de capitais para os mercados de futuros de petróleo e gás natural, levando a fortes acréscimos de preços nestes mercados como aconteceu em consequência do forte envolvimento de novos actores nesses mercados (nomeadamente investidores institucionais);
- ◆ a desvalorização do dólar, ocorrendo num período de tensões na oferta de petróleo permite aos principais produtores “jogar” num acréscimo limitado da oferta para levar a aumentos dos preços em dólares que compensem a desvalorização da moeda dos EUA; ao mesmo tempo a desvalorização do dólar, num contexto de razões fundamentais para manutenção de um patamar elevado de preços leva investidores a aplicar fundos no mercado de petróleo, como forma de se protegerem contra essa mesma desvalorização cambial.

A conjugação de vários, ou de todos estes factores, levou a um acréscimo dos preços do petróleo desde 2002, com uma clara aceleração em 2007.

GRÁFICO III

ICE Brent Crude Oil Closing Price (begin July 1988)

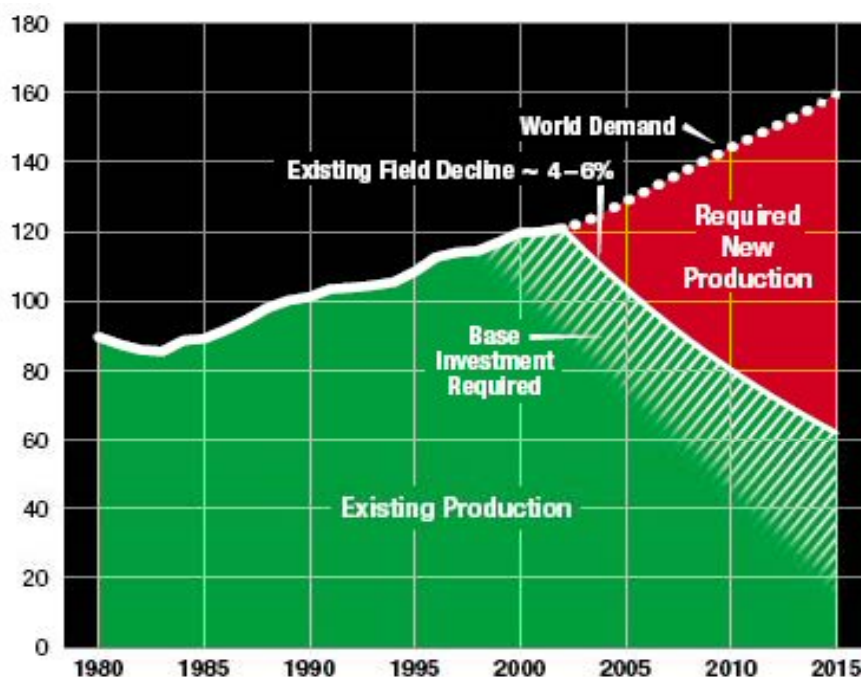


Average monthly data from July 1988 through December 2007

Fonte: OILNERGY, 2008.

2. O PERÍODO 2007/2015 – UMA ANTECIPAÇÃO PARA O PETRÓLEO

GRÁFICO IV



Fonte: Exxon Mobil, 2004.

O Gráfico IV resume as três questões-chave que se colocam num horizonte de 2015:

- ◆ a possibilidade de se assistir à continuação do crescimento da procura de petróleo e gás natural, explicada no essencial pelo crescimento das economias emergentes, com forte intensidade energética com destaque para China e, em menor escala, para a Índia;
- ◆ um declínio continuado da produção da actual base de produção mundial que se poderá situar na ordem dos 4 a 6% a nível mundial;
- ◆ um crescente desfasamento entre a oferta possível da actual base de produção e a procura (considerando que esta se comportaria independentemente dos preços, apenas seguindo tendências recentes). Apontando para necessidade de ampliar em larga escala a base de produção de petróleo e gás natural, se não se quiser travar o crescimento das economias emergentes.

A leitura do *Medium Term Oil Market Report* de Julho de 2007 da IEA – *International Energy Agency* permite detalhar estas três questões:

As **Limitações da Oferta** – desdobrando-se nas seguintes componentes:

- ◆ **Declínio de Produção no conjunto dos jazigos em exploração** – de acordo com a IEA a taxa líquida de declínio deve atingir os 4,6% nos produtores não OPEP

e 3,2% na OPEP, sendo que estes valores encobrem grandes diferenças, patentes por exemplo nas taxas de 15-20% de declínio em áreas de produção madura e também em várias de produções *offshore* mais recentes (que chegam em muitos casos à maturidade mais rapidamente do que os jazigos tradicionais *onshore*); no seu conjunto as previsões apontam para que o sector necessitaria de ampliar anualmente a produção em 3,0 mb/d com nova oferta em cada ano, só para fazer face ao declínio de produção na actual base; para o IEA os riscos da oferta de natureza geopolítica colocam uma interrogação ainda maior do que os resultantes da existência física de recursos quanto á possibilidade de realizar tal ampliação.

- ◆ **Aumento restrito da oferta de petróleo convencional da OPEP** – a oferta da OPEP poderá passar apenas de 34,4 mb/d médios em 2007 para 38,4 mb/d em 2012, sendo que 70% desta ampliação terá sua origem na Arábia Saudita (a maior contribuição com +1,8 mb/d), os Emiratos Árabes Unidos (+0,5 mb/d) e Angola (+0,5 mb/d). Aumentos mais reduzidos ocorrerão no Kuwait, Nigéria, Argélia, e Líbia. Refira-se que esta previsão é pessimista quando comparada com as estimativas da própria OPEP que apontam para 40 mb/d já em 2010, pois a IEA avalia com cautela as ampliações de produção referentes ao Iraque, Venezuela e Nigéria (delta do Niger) contempladas pela OPEP, em que são fortes os riscos de segurança e de investimento³.
- ◆ **Aumento da oferta não convencional da OPEP** – inclui a produção de condensados, de GNL (líquidos obtidos a partir da extracção de gás natural) e de *Gas to Liquid* (GTL – transformação de gás natural em combustíveis sintéticos líquidos) por parte da OPEC atingirá os 7,1 mb/d em 2012, com taxas de crescimento anual na ordem dos 8% o que permitirá ampliar produção entre 2007 e 2012 em 2,2 mb/d, com o crescimento centrado na Arábia Saudita, Qatar, Irão e Nigéria; esta produção não convencional apresenta várias vantagens para os produtores OPEP:
 - o permite aproveitar mais integralmente os recursos em hidrocarbonetos, evitando a queima para a atmosfera e permitindo a exploração de jazidas de gás natural sem grandes condições para uma utilização em larga escala (*stranded gas*); não é contabilizada nas suas respectivas quotas de produção na OPEP, que se restringem ao petróleo convencional e acompanha a aposta de países da OPEP no aumento da produção e utilização doméstica de gás natural, com o objectivo de libertar mais petróleo para a exportação.
- ◆ **Declínio da oferta não OPEP existente** – se se considerar a nova oferta petrolífera convencional (mas também a oferta de biocombustíveis e a oferta de

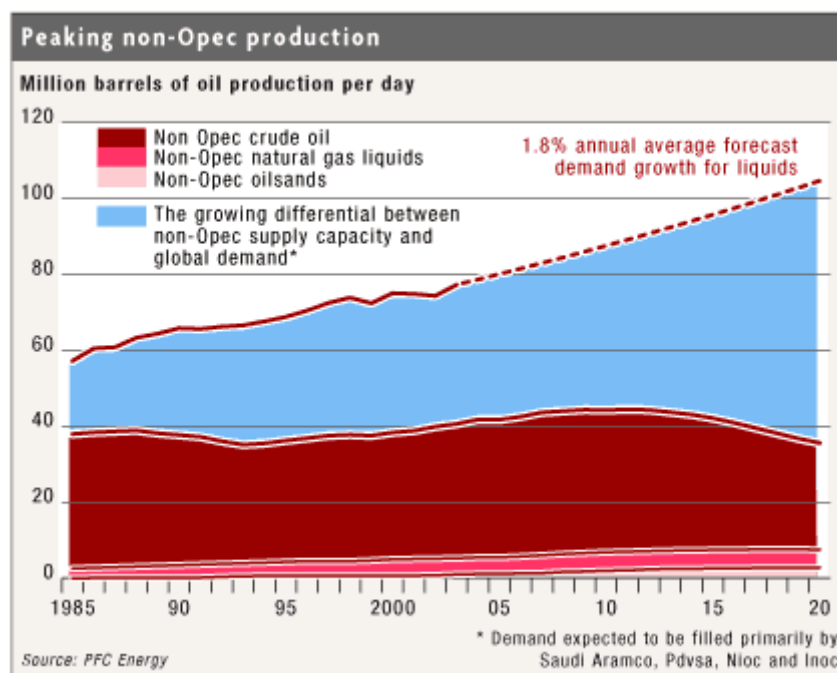
³ Refira-se ainda que pelo facto de aderir à OPEP países produtores como Angola verão no futuro próximo limitada a expansão da sua produção.

GTL da OPEP), é antecipada uma produção de 52,6 mb/d em 2012, em comparação com os 50,0 mb/d de 2007, mas com taxas de crescimento anual neste período de 1%, abaixo dos 1,4% que se verificaram em média entre 2000 e 2007. Depois de um crescimento forte entre 2007 e 2009, em virtude da entrada em produção de novos projectos a IEA antecipa para 2010/12 uma redução no ritmo de entrada de novos projectos, e portanto no ritmo de aumento da produção, considerando que depois de 2012 talvez se possa considerar uma retoma de crescimento devido sobretudo a produtores do espaço ex-soviético e da África Ocidental; o Gráfico V ilustra as principais quebras de produção não OPEP que vão atingir o Reino Unido, a Noruega, o México, o Alasca e outras regiões EUA enquanto as principais regiões em que se esperam acréscimos de produção são a Rússia, Cazaquistão, Azerbaijão, Turquemenistão, a África Ocidental (incluindo Angola ainda aqui não contabilizada como OPEP), o Brasil, o Canadá e os EUA – Golfo do México; e três outras fontes – *heavy oils* aumento da produção de biocombustíveis e maior eficiência na refinação⁴.

- ◆ **Capacidade Excedentária na OPEP** – esta variável, que é chave na regulação conjuntural do mercado do petróleo, depois de ter atingido os valores mais baixos em 2004, em pleno período de explosão da procura (vd. impacto da crise de abastecimento de electricidade na China) em que essa capacidade não atingia os 1,0mb/d tem vindo a aumentar para os 3,0 mb/d em 2007, sendo de esperar novos aumentos em 2009; convém, no entanto, referir que, em termos históricos, mesmo com os valores actuais esta capacidade excedentária está a níveis baixos prevendo-se que quebre fortemente após 2010, acompanhando a elevação da quota da OPEP para os 38% da procura global.

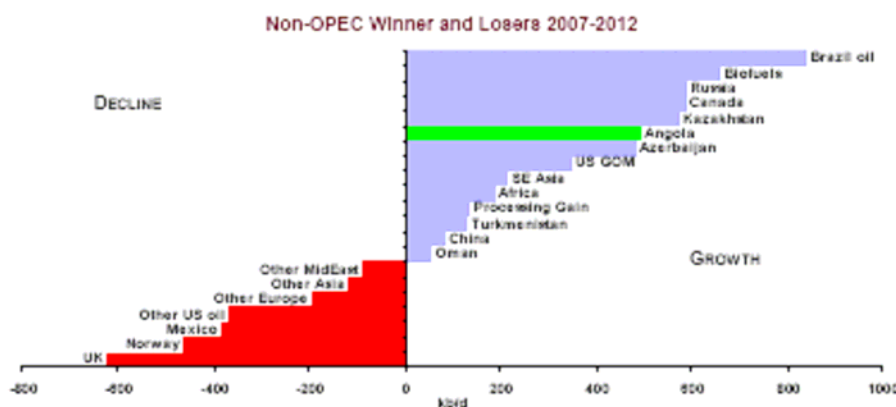
⁴ Recorde-se que a produção de *heavy oils* atingia 1% da oferta total em 1980, que em 2006 representava já 2,2% havendo projecções que apontam para 7,5% em 2030 (WEO, 2007).

GRÁFICO V



Fonte: HOYOS, "The New Seven Sisters: Oil and Gas, Giants Dwarf Western Rivals", 11/03/07.

GRÁFICO VI



Fonte: IEA, *Medium Term Oil Market Report*, Julho 2007.

Os **Factores da Procura** – que se desdobram nos seguintes componentes:

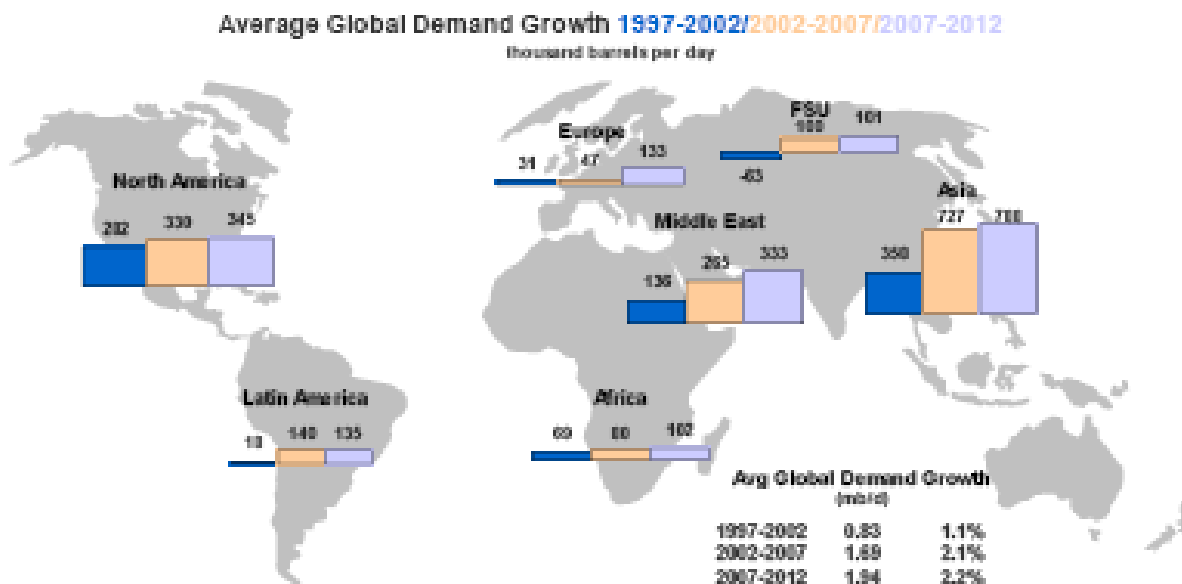
A procura de petróleo é determinada pelo crescimento global da economia mundial, pela sua distribuição entre economias emergentes e economias desenvolvidas, pelo comportamento dos preços e da elasticidade de procura e pela substituição de combustíveis por razões independentes dos preços. Assim pode afirmar-se que:

- ◆ as economias emergentes terão um papel crucial nas taxas de crescimento da economia mundial e esse crescimento será intensivo em consumo de energia, e

nomeadamente de petróleo (transportes, indústria); enquanto os governos mantiverem os preços artificialmente baixos da energia no mercado doméstico dificilmente se assistirá a ganhos de eficiência que permitam reduzir a intensidade da procura de petróleo;

- ◆ as economias desenvolvidas terão um crescimento mais lento do que as economias emergentes e esse crescimento será menos intensivo em consumos energéticos (evolução também associada à transferência de produção de sectores mais intensivos em energia e capital para as economias emergentes – transformação da China no maior produtor mundial de cimento, aço e alumínio etc.); verificar-se-á tendencialmente a transferência de consumos para outros combustíveis menos agressivos do ambiente e utilizados em tecnologias mais eficientes de produção de electricidade; mantendo-se a concentração da utilização do petróleo nos transportes, devido à limitação das soluções tecnológicas alternativas no curto/médio prazo;
- ◆ as economias dos países exportadores de petróleo irão consumir uma parte cada vez maior da sua produção, o que constitui um desenvolvimento novo e de maior importância; para tentar controlar a redução potencial das exportações daí decorrente, apostarão no gás natural e no aproveitamento dos gases associados à exploração petrolífera para utilizações domésticas.

MAPA I



Fonte: IEA, *Medium Term Oil Market Report*, Julho 2007.

Síntese

Até 2015, se não houver uma recessão prolongada nas economias desenvolvidas e se a economia da China não experimentar um *hard landing*, independente de uma eventual recessão mundial, pode afirmar-se que estão reunidas as condições para a manutenção da média de preços do petróleo durante esse período em patamares não inferiores aos US\$ 70/80 por barril, em consequência de quatro factores:

- ◆ a incapacidade de cobrir o declínio líquido esperado da actual base de produção de petróleo com surgimento de nova produção em volume significativo;
- ◆ a manutenção de uma capacidade excedentária da OPEP baixa em termos históricos, tornando mais volátil o comportamento dos preços;
- ◆ as dificuldades no aumento rápido da produção de gás natural que permitisse uma difusão mais acelerada do seu uso, sobretudo nas economias mais desenvolvidas (onde as pressões ambientais também serão maiores); o que permitiria reduzir a procura de petróleo nalgumas das suas utilizações actuais;
- ◆ a concentração de fundos de investimento especulativo na área energética, aproveitando a inevitável tensão no mercado de petróleo resultante dos três factores anteriores; quanto maior for o impacto da crise do imobiliário *subprime*, maior será a corrida por parte dos fundos de alto risco aos mercados energéticos para “apagar” prejuízos derivados da crise do imobiliário.

Um eventual agravamento das tensões geopolíticas no Golfo Pérsico/Médio Oriente só virá agravar mais estes factores (embora por seu lado, ao contribuir para o desencadear de uma recessão, contribua para reduzir a procura de petróleo e os preços).

3. PETRÓLEO E GÁS NATURAL NO HORIZONTE 2030 – UMA ACUMULAÇÃO DE INCÓGNITAS

3.1. Uma Acumulação de Incógnitas

Considerando agora o conjunto do período 2007-2030 surgem sete incógnitas principais no que respeita à procura e oferta de petróleo e gás natural:

- ◆ Qual será a sustentabilidade do crescimento da China e a possibilidade de uma grave crise económica (e política?) neste país, alterando todos os cálculos actualmente realizados sobre a configuração da economia mundial no horizonte 2030?
- ◆ Qual será a evolução estratégica política no Golfo Pérsico e o seu impacto na sobrevivência e disciplina da OPEP e do seu modelo de companhias nacionais monopolizando a exploração, desenvolvimento e produção nos respectivos países, com as consequências na expansão da oferta energética desta região?
- ◆ Qual a intensidade e o êxito da prospecção petrolífera nas margens continentais de grandes economias emergentes – China e Índia – nomeadamente no *deep offshore*, por forma a reduzir as necessidades de importação em termos significativos; ou seja até que ponto China e Índia vão reproduzir o padrão dos EUA e da Europa (até recentemente) de terem bases de produção significativas no seu próprio litoral?
- ◆ Qual a rapidez de entrada em exploração de novos jazigos de petróleo e gás natural no Ártico e a evolução das relações da Rússia com os potenciais clientes de recursos energéticos, nomeadamente os situados na margem continental do Ártico?
- ◆ Qual o conteúdo dos acordos internacionais relativos ao combate às alterações climáticas no pós-Kyoto?
- ◆ Qual será a rapidez de difusão de duas tecnologias que mais podem contribuir para a redução da intensidade de consumo de petróleo do maior consumidor entre os países desenvolvidos – os EUA – ou seja a **motorização híbrida e eléctrica** e as **novas tecnologias de aproveitamento integrado e limpo de carvão** (tecnologias que também serão fundamentais para uma redução das emissões de CO₂ por parte dos EUA)?
- ◆ Qual a possibilidade de surgir até 2015 uma nova tecnologia energética revolucionária que, embora só se difunda depois de 2030, permita alterar as expectativas quanto ao futuro energético e ambiental global?

3.2. Identificando as Incertezas Cruciais e as Configurações da sua Resolução

Procurámos agrupar estas incertezas em **QUATRO INCERTEZAS CRUCIAIS**, cujo conteúdo e configurações assumidas se indicam seguidamente. **Todas elas estão inter-relacionadas mas de nenhuma se pode dizer que depende principalmente de outra destas Incertezas, garantindo assim um grau de independência que nos pareceu satisfatório.**

1) O CRESCIMENTO ASIÁTICO – actualmente é o motor do crescimento mundial e o principal responsável pelo aumento da procura de energia fóssil e, no curto prazo, sê-lo-á também no que respeita às emissões de gases com efeito de estufa. Admitimos duas Configurações:

- ◆ **CONTINUAÇÃO** – nesta Configuração China e Índia continuam os seus processos actuais de industrialização, urbanização e motorização sem grandes sobressaltos políticos e sem grandes exigências ambientais; a China em particular consegue ultrapassar o choque do aumento de preço da energia após um *boom* de investimento em indústrias e infra-estruturas vorazes em energia.
- ◆ **FRACTURA** – nesta Configuração a China atravessa uma grave crise e uma quebra acentuada do seu crescimento com crescente fragmentação regional. Enquanto a Índia consegue manter uma trajectória de crescimento, se bem que mais lenta do que a China teve na primeira década deste século.

2) O PARADIGMA ENERGÉTICO NOS EUA – os EUA são a economia desenvolvida com maior consumo de energia e com maior nível de emissões de gases com efeito de estufa, não obstante os avanços realizados durante os anos 90 na redução da intensidade energética do seu crescimento. Deparam-se simultaneamente com problemas sérios de segurança de abastecimento energético (sobretudo no que respeita ao petróleo para a mobilidade e ao gás natural para aquecimento e indústria) e ambientais, sendo pressionados a assumir um maior envolvimento no combate às alterações climáticas. Admitiram-se duas Configurações:

- ◆ **EFICIÊNCIA & SEGURANÇA** – nesta Configuração, em que não se avançaria em direcção a fortes compromissos internacionais de redução das emissões de gases com efeito de estufa os EUA melhoram substancialmente a eficiência energética do seu sector de transportes, com a difusão de automóveis híbridos e depois eléctricos e intervêm na área energética centrando-se nas preocupações de segurança energética – aposta na utilização polivalente do carvão e nos combustíveis sintéticos obtidos a partir de recursos não convencionais, quer seus, quer do Canadá.
- ◆ **EFICIÊNCIA & SUSTENTABILIDADE** – nesta Configuração em que se dariam passos significativos no sentido da cooperação internacional para a redução das emissões dos gases com efeito de estufa, os EUA não só avançam com melhorias

de eficiência nos transportes como no carvão limpo, incluindo captação e sequestração de carbono e reintroduzem o nuclear em larga escala, mas com uma componente inovadora, em fase inicial de difusão – os reactores nucleares de temperatura muito alta – e realizariam um *breakthrough* energético inesperado que muda as expectativas energéticas no longo prazo, embora ainda sem estar em aplicação comercial no final do período em análise.

3) O PADRÃO DE NOVAS DESCOBERTAS DE PETRÓLEO GÁS NATURAL – quer se esteja mais ou menos próximo do *peak oil*, o que será determinante até 2030 é saber onde se vão localizar as novas descobertas de jazidas de petróleo e gás natural que ocorrerão em qualquer circunstância nesse horizonte temporal. Admitiram-se duas configurações:

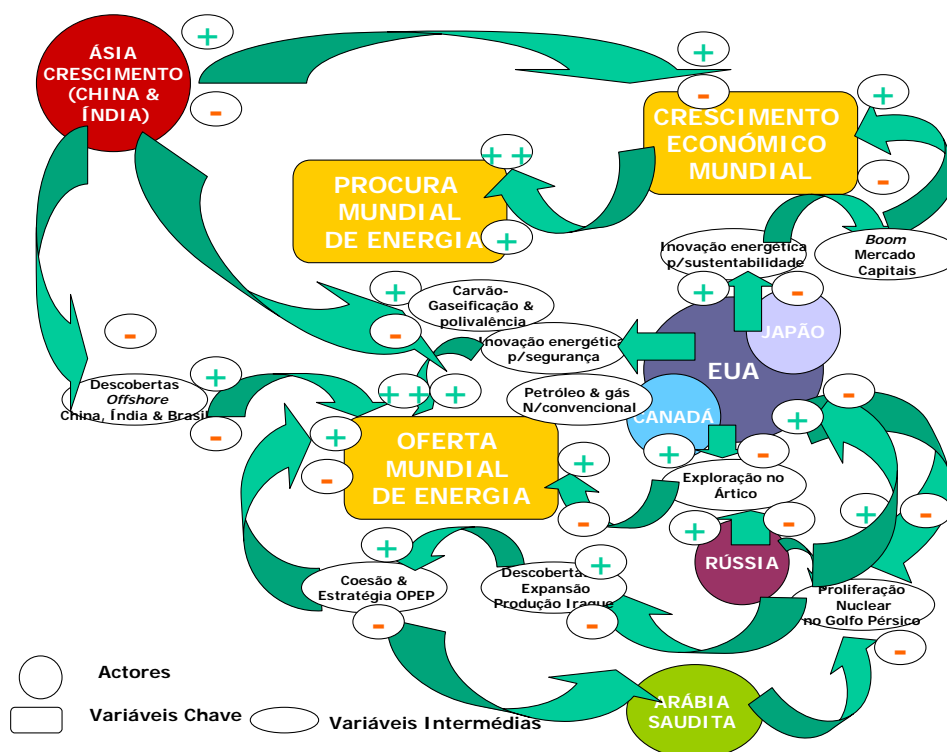
- ◆ **POLARIZAÇÃO** – nesta Configuração reforça-se a dependência das economias emergentes da Ásia do petróleo e gás natural do Golfo Pérsico e Cáspio, enquanto a conflitualidade acrescida dos EUA e Rússia trava a rapidez do desenvolvimento da nova província energética do Ártico.
- ◆ **DISPERSÃO** – nesta Configuração suceder-se-iam as descobertas de jazidas de petróleo e gás natural nas plataformas continentais das grandes economias emergentes (China, Índia e Brasil) graças à cooperação das IOC com algumas das NOCs desses países; e no Ártico inicia-se a exploração em larga escala de petróleo e gás natural graças à cooperação entre EUA e Rússia.

4) A EVOLUÇÃO ESTRATÉGICA E GEOPOLÍTICA DO GOLFO PÉRSICO – Esta evolução determina em última instância qual o ritmo a que as reservas de petróleo e gás natural do Golfo irão ser postas em produção, dependendo da solidez do padrão de relacionamento entre os Estados da região e da sua consequência sobre a solidez da OPEP. Admitiram-se duas Configurações:

- ◆ **UNIÃO ISLÂMICA** – nesta Configuração assistir-se-ia a um claro recuo da influência dos EUA na região, na sequência da sua retirada do Iraque num contexto caótico e da aquisição de armas nucleares pelo Irão; face ao poder iraniano os estados árabes optariam por uma política de *appeasement* apostando tudo no reforço da OPEP e do seu modelo de companhias estatais monopolistas fracassando a tentativa de aumento “exponencial” da produção de petróleo e gás natural do Iraque.
- ◆ **SISMO** – nesta Configuração assistir-se-ia a uma evolução tumultuosa, marcada por conflitos militares na região e mudanças de regimes; os EUA, o Iraque, o Irão pós-*ayatollahs*, a Índia e Israel formariam uma aliança que passaria a condicionar a evolução da região, assistindo-se a uma clara evolução do modelo OPEP no sentido da abertura da prospecção e exploração de petróleo e gás natural a companhias das economias desenvolvidas e emergentes, determinando um ritmo mais acelerado de aumento da produção.

3.3. Explicitando as Causalidades Consideradas

FIGURA II
INCERTEZAS CRUCIAIS E SUA INTERAÇÕES



Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

- 1) A procura de energia A nível mundial é determinada pela conjugação do crescimento económico mundial e do avanço de tecnologias energéticas que assegurem a maior sustentabilidade por redução da intensidade energética do crescimento e/ou por redução da intensidade de carbono da utilização da energia.
- 2) O crescimento Económico Mundial é determinado pelo crescimento da Ásia e pelo comportamento do mercado de capitais dos EUA, seu reflexo no património das famílias americanas e no seu consumo, bem como no investimento das empresas dos/nos EUA.
- 3) O comportamento do mercado de capitais dos EUA depende das “vagas de inovação” que abrem novos campos de investimento, como pode acontecer com as “inovações energéticas para a sustentabilidade”; a inovação energética para a segurança limita-se a substituir fontes de energia primária sem abrir novos campos de “investimento líquido”.
- 4) A oferta de energia depende do grau de coesão da OPEP, da intensidade de descobertas de novas jazidas fora da OPEP (Ártico e *offshore* das economias emergentes), dos avanços na exploração de formas não convencionais de petróleo e gás natural (areias e xistos betuminosos e *coal bed methane*) e da dimensão da oferta de combustíveis sintéticos obtidos a partir de carvão e gás natural.

5) A coesão da OPEP depende da futura política energética do Iraque e da intensidade da procura mundial de energia.

6) A política energética do Iraque depende da evolução estratégica e geopolítica do Golfo Pérsico, mas por seu lado ao influir na coesão da OPEP afecta o comportamento da Arábia Saudita que nunca aceitará um enfraquecimento da organização que lhe dá maior poder mundial, o que pode determinar novos factores de perturbação na região.

3.4. Seleccionando Quatro Cenários

Considerámos as Quatro incertezas, cada uma delas com as duas Configurações indicadas resultando da combinatória 16 combinações possíveis, que constituem o espaço Morfológico da Cenarização (vd. Quadro I). Seguidamente, procedeu-se a uma análise no sentido de caminhar para um Espaço Morfológico Útil, excluindo as combinações que incluíssem pares de Configurações consideradas menos plausíveis.

QUADRO I
ESPAÇO MORFOLÓGICO DA CENARIZAÇÃO REALIZADA

	CRESCIMENTO ASIA	GEOPOLÍTICA GOLFO	PARADIGMA ENERGÉTICO EUA	LOCALIZAÇÃO NOVAS JAZIDAS
1	Continuação	Frente islâmica	Segurança	Polarização
2	Continuação	Frente islâmica	Segurança	Dispersão
3	Continuação	Frente islâmica	Sustentabilidade	Polarização
4	Continuação	Frente islâmica	Sustentabilidade	Dispersão
5	Continuação	Sismo	Segurança	Polarização
6	Continuação	Sismo	Segurança	Dispersão
7	Continuação	Sismo	Sustentabilidade	Polarização
8	Continuação	Sismo	Sustentabilidade	Dispersão
9	IFractura	Frente islâmica	Segurança	Polarização
10	Fractura	Frente islâmica	Segurança	Dispersão
11	Fractura	Frente islâmica	Sustentabilidade	Polarização
12	Fractura	Frente islâmica	Sustentabilidade	Dispersão
13	Fractura	Sismo	Segurança	Polarização
14	Fractura	Sismo	Segurança	Dispersão
15	Fractura	Sismo	Sustentabilidade	Polarização
16	Fractura	Sismo	Sustentabilidade	Dispersão

Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

Foram excluídas as Configurações que incluíam simultaneamente:

Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico – SISMO
 Paradigma Energético EUA – EFICIÊNCIA & SEGURANÇA

Por se considerar que numa Configuração SISMO as questões de segurança energética se tornariam menos prementes para os EUA, qualquer que fosse a evolução da localização das novas jazidas.

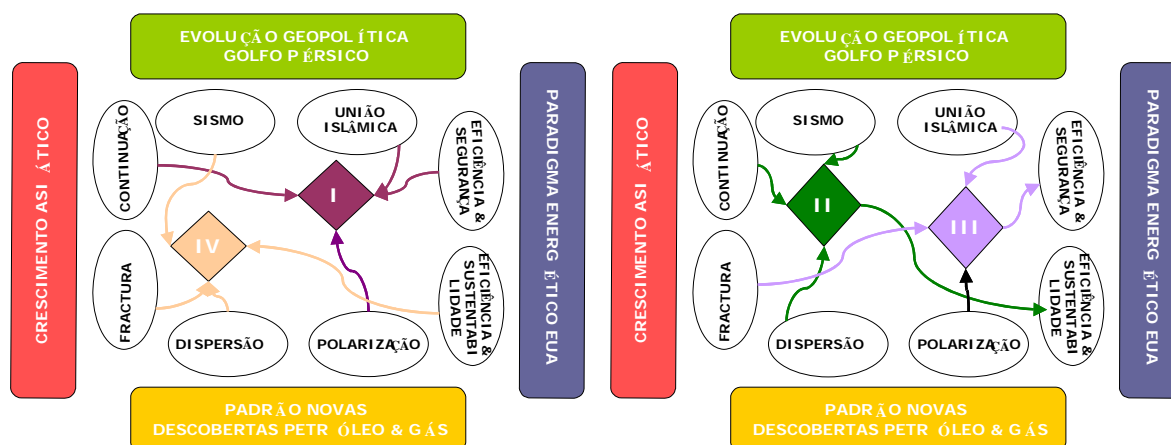
Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico – FRENTE ISLÂMICA
 Paradigma Energético EUA – EFICIÊNCIA & SUSTENTABILIDADE
 Localização das novas jazidas – POLARIZAÇÃO

Por se considerar que nestas circunstâncias as prioridades dos EUA não deveriam ser a Sustentabilidade mas sim a Segurança Energética.

Seguidamente das dez restantes seleccionaram-se quatro, incluindo as duas que ocupam as posições mais contrastadas (**1 e 16**) e outras duas que ocupam uma posição mais intermédia (**8 e 9**), não significando tal escolha que não se devesse analisar numa segunda fase uma ou mais das oito restantes.

FIGURA III

AS QUATRO “OSSATURAS” DE CENÁRIOS ESCOLHIDAS



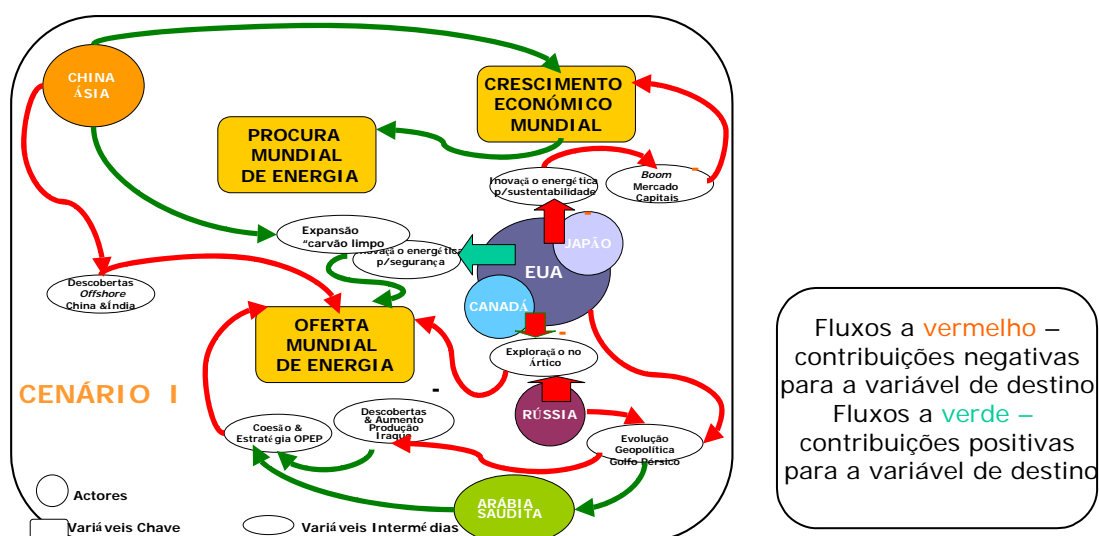
Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

CENÁRIO I

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário I Combinação 1	Crescimento Asiático Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico Paradigma Energético nos EUA Padrão de Novas Descobertas de Petróleo e GN	Continuação União Islâmica Segurança Polarização

- ◆ os EUA estariam claramente na defensiva após insucesso múltiplo no Golfo Pérsico – retirada do Iraque e consolidação do regime do Irão em torno da sua ala mais combativa, face à qual os países árabes assumiriam uma posição de *appeasement*;
- ◆ uns e outros reforçariam o seu peso num mundo com forte procura de energia dado que as descobertas de novas jazidas não retiravam a polarização das reservas em torno do Golfo Pérsico; a OPEP reforçar-se-ia como cartel, mantendo o seu modelo de NOC monopolistas;
- ◆ o crescimento asiático continuaria sem interrupção de monta, embora sujeito a flutuações; reforçar-se-iam as relações comerciais e de investimento intra-asiáticas e da Ásia com a África e enfraqueceriam os laços do mesmo tipo com os EUA; a continuação do crescimento asiático contribuiria para um forte crescimento da procura de petróleo e gás natural;
- ◆ cada uma das grandes economias emergentes – China e Índia – procuraria estreitar relações privilegiadas com um grande produtor do Golfo Pérsico;
- ◆ os EUA, face à tensão no mercado de energia e ao seu recuo no Golfo Pérsico, iniciariam um vasto programa de substituição tecnológica orientado por preocupações de segurança.

FIGURA IV
CENÁRIO I



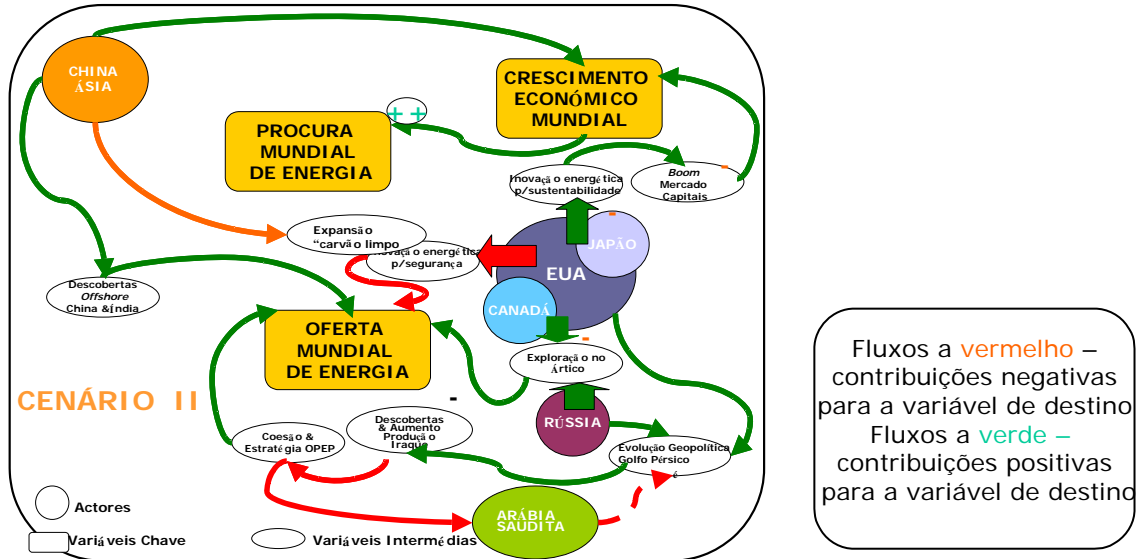
Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

CENÁRIO II

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário II Combinação 8	Crescimento Asiático Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico Paradigma Energético nos EUA Padrão de Novas Descobertas de Petróleo e GN	Continuação Sismo Sustentabilidade Dispersão

- ◆ os EUA após um período de grandes convulsões no Médio Oriente/Golfo Pérsico, com prolongamentos na Ásia do Sul em torno da “deriva” do Paquistão surgiriam liderando uma novo bloco de estados organizados em torno de um eixo xiita moderado, de Israel e da Índia;
- ◆ o crescimento asiático continuaria sem interrupção de monta, embora sujeito a flutuações; reforçar-se-iam as relações comerciais e de investimento da Índia e da China com os EUA;
- ◆ novas descobertas de jazidas de petróleo e gás natural no *offshore* das economias emergentes – China, Índia e Brasil – reduziriam a dependência destas economias para com o Golfo Pérsico;
- ◆ um maior entendimento entre EUA e Rússia abriria espaço a uma intensa exploração energética do Ártico que permitiria reduzir a dependência de economias desenvolvidas – EUA e Japão – do Golfo Pérsico, reforçando o papel da Rússia e do Canadá no abastecimento do “Norte desenvolvido”;
- ◆ assistir-se-ia a uma abertura de países hoje da OPEP ao investimento das IOC e das NOC das economias emergentes da Ásia, enfraquecendo o poder;
- ◆ os EUA, libertos de preocupações de segurança energética e perante o crescimento acelerado dos consumos de combustíveis fósseis e de aumento de emissões liderariam uma mudança tecnológica centrada nas questões de sustentabilidade, num quadro de regulação que privilegiaria a mobilização de fundos para o investimento em I&D e inovação, com um conseqüente *boom* na bolsa em torno de novas gerações de tecnologias energéticas.

FIGURA V
CENÁRIO II



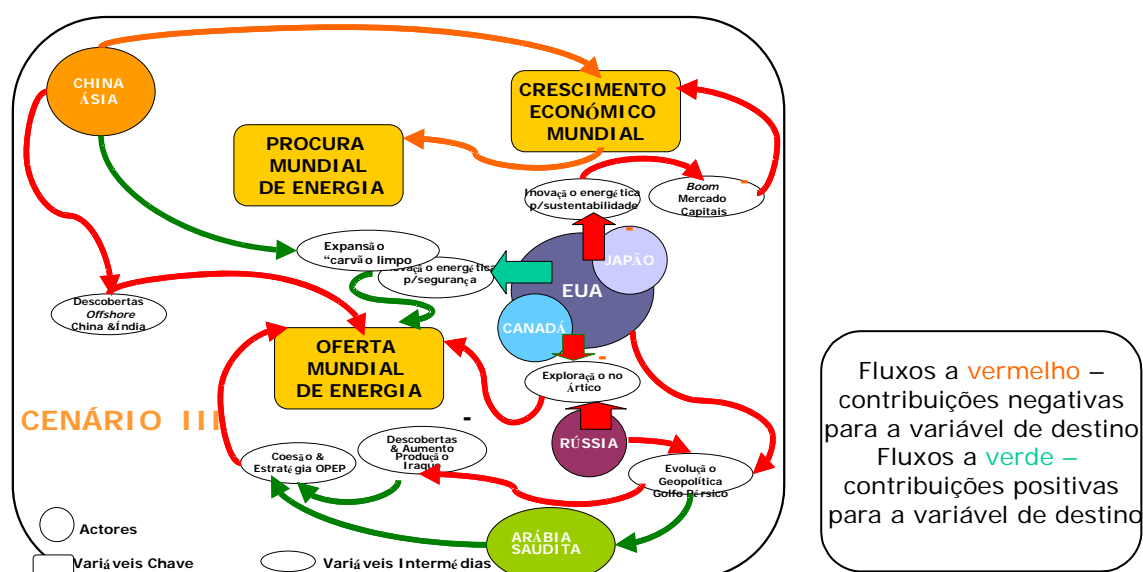
Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

CENÁRIO III

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário III Combinação 9	Crescimento Asiático Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico Paradigma Energético nos EUA Padrão de Novas Descobertas de Petróleo e GN	Fractura União Islâmica Segurança Polarização

- ◆ os EUA estariam claramente na defensiva após insucesso múltiplo no Golfo Pérsico – retirada do Iraque e consolidação do regime do Irão em torno da sua ala mais combativa, face à qual os países árabes assumiriam uma posição de *appeasement*;
- ◆ as relações entre EUA e Rússia manter-se-iam tensas com a Rússia procurando aproximar-se dos Estados árabes tradicionalmente aliados dos EUA;
- ◆ o crescimento asiático sofreria uma fractura na sua dinâmica com uma crise prolongada numa das economias emergentes – a China após um *hard landing* não controlada da sua economia após o *boom* de investimento do início do século; esta fractura traduzir-se-ia em quebra no ritmo de crescimento da procura de energia a nível mundial;
- ◆ uns e outros – árabes e persas – reforçariam o seu peso num mundo em que as descobertas de novos jazidas não retiravam a polarização das reservas em torno do Golfo Pérsico; a OPEP reforçar-se-ia como cartel, mantendo o seu modelo de NOC monopolistas, embora a quebra no ritmo de procura determinasse tensões entre os seus membros sobre o nível adequado de produção;
- ◆ os EUA face à tensão no mercado de energia e ao seu recuo no Golfo Pérsico iniciariam um vasto programa de substituição tecnológica orientado por preocupações de segurança.

FIGURA VI
CENÁRIO III



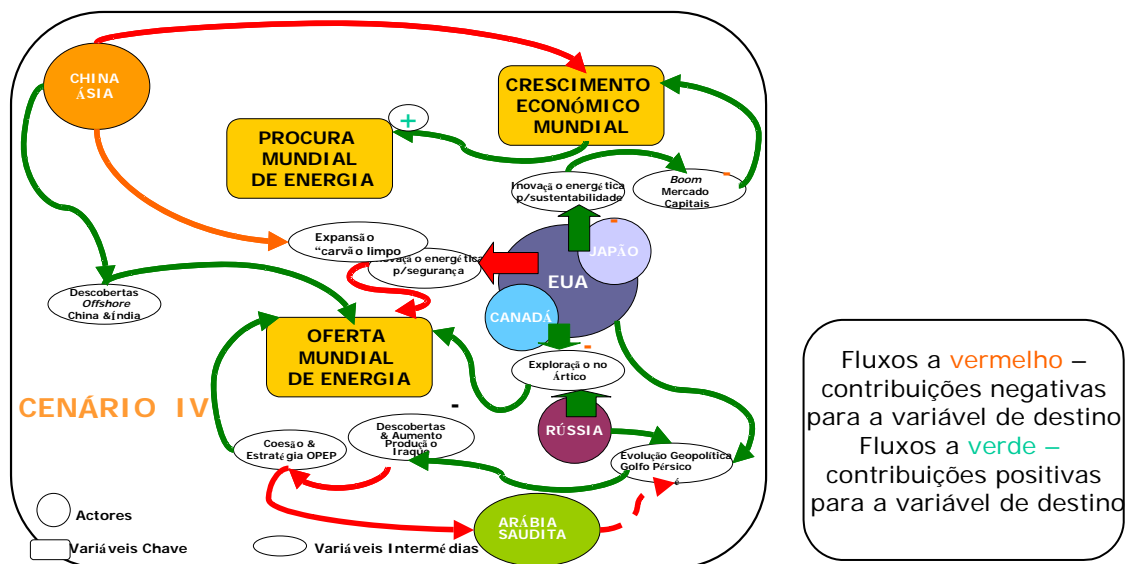
Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

CENÁRIO IV

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário IV Combinação 16	Crescimento Asiático Evolução Geopolítica do Golfo Pérsico Paradigma Energético nos EUA Padrão de Novas Descobertas de Petróleo e GN	Fractura Sismo Sustentabilidade Dispersão

- ◆ os EUA após um período de grandes convulsões no Médio Oriente/Golfo Pérsico, com prolongamentos na Ásia do Sul em torno da “deriva” do Paquistão surgiriam liderando um novo bloco de estados organizados em torno de um eixo xiita moderado, de Israel e da Índia;
- ◆ assistir-se-ia a uma abertura de países hoje da OPEP ao investimento das IOC e das NOC das economias emergentes da Ásia, enfraquecendo o poder;
- ◆ o crescimento asiático sofreria uma fractura na sua dinâmica com uma crise prolongada numa das economias emergentes – a China após um *hard landing* não controlada da sua economia após o *boom* de investimento do início do século; esta fractura traduzir-se-ia em quebra no ritmo de crescimento da procura de energia a nível mundial;
- ◆ novas descobertas de jazidas de petróleo e gás natural no *offshore* das economias emergentes – China, Índia e Brasil – reduziriam a dependência destas economias para com o Golfo Pérsico; os preços do petróleo desceriam de forma abrupta, mas num contexto em que a OPEP já não estaria em condições de repor a “escassez” no mercado;
- ◆ os EUA, libertos de preocupações de segurança energética e perante o crescimento acelerado dos consumos de combustíveis fósseis e de aumento de emissões liderariam uma mudança tecnológica centrada nas questões de sustentabilidade, num quadro de regulação que privilegiaria a mobilização de fundos para o investimento em I&D e inovação, com um consequente *boom* na bolsa em torno de novas gerações de tecnologias energéticas.

FIGURA VII
CENÁRIO IV



Fonte: Elaborado por DPP, 2008.

II. ENERGIA & TECNOLOGIA

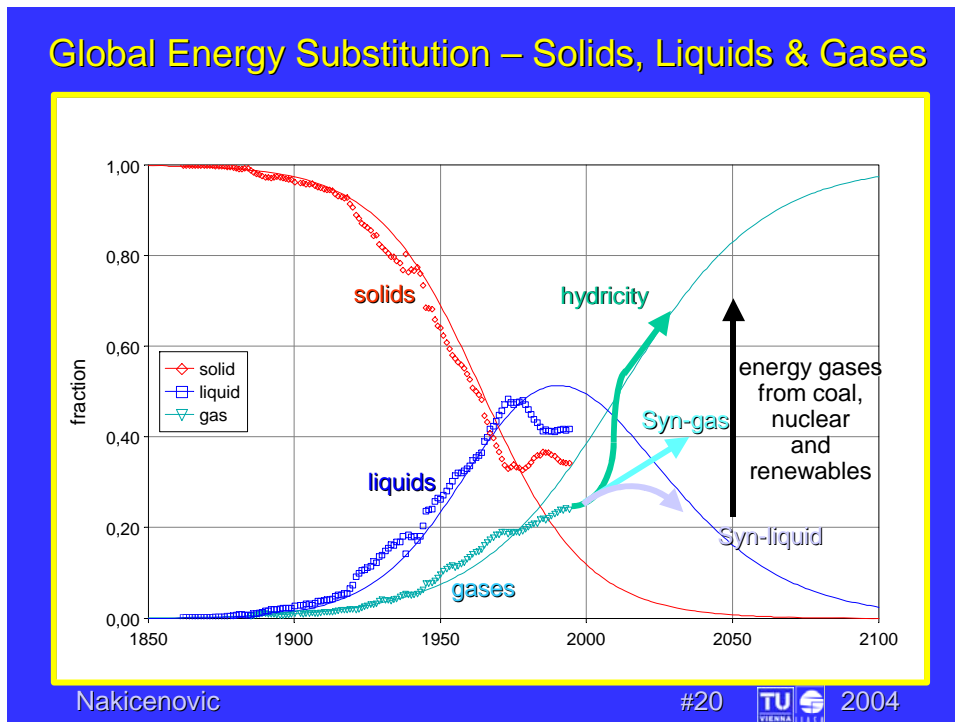
1. INTRODUÇÃO

Podemos identificar **seis tendências** pesadas na evolução do sistema energético mundial que constituem factores de mudança tecnológica desse Sistema:

1. Um forte crescimento da procura de petróleo e gás natural dirigida ao mercado internacional, associada à emergência das grandes economias asiáticas, importadoras líquidas de hidrocarbonetos; nestas economias estão em curso três processos intensivos em energia que irão continuar nas próximas décadas: industrialização, urbanização e motorização.
2. O surgimento de restrições potenciais na oferta de petróleo e gás natural resultante de se ter atingido o pico de produção em várias das províncias energéticas não integradas na OPEP e por não ser claro qual a estratégia futura das companhias estatais dos principais países produtores que controlam uma parte cada vez maior das reservas quer de petróleo, quer de gás natural.
3. Uma forte procura mundial de carvão (centrada na sua utilização para produção de electricidade) e que é explicável pela sobreposição entre as economias com maior potencial de crescimento e de maior dimensão – EUA, de entre os países desenvolvidos e China e Índia de entre as economias emergentes e as economias com maiores reservas de carvão.
4. Uma profunda transformação nos mercados de electricidade das economias desenvolvidas, quer na sequência dos movimentos de liberalização e privatização, quer das exigências de “qualidade da electricidade” que economias “digitalizadas” e funcionando com recurso a redes informáticas colocam; a primeira dá preferência às “economias de capital”, a segunda pode dar prioridade a formas de “electricidade distribuída”.
5. Uma mais forte consciência a nível das opiniões públicas e dos governos dos países desenvolvidos da necessidade de limitar a emissão de gases com efeito de estufa resultante da queima de combustíveis fósseis e de adaptar as economias e as sociedades aos impactos das alterações climáticas que uma corrente maioritária na comunidade científica atribui a essas emissões.
6. Uma elevada probabilidade de que os principais países emissores de gases com efeito de estufa – liderados actualmente pelos EUA e a partir de 2009 pela China – não aceitem estabelecer metas para as reduções de emissões enquanto não estiverem disponíveis novas tecnologias que o permitam alcançar a custos competitivos, e sem que existam a nível global mecanismos de mercado que permitam uma mais gradual redução de emissões nos países desenvolvidos e que facilitem a transferência em larga escala dessas tecnologias para as economias emergentes, já que nelas é que está a ser feito o principal investimento novo na produção de electricidade e na industrialização intensiva em energia.

FIGURA I

UMA LEITURA DA EVOLUÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES ENERGÉTICAS



Fonte: Nakicenovic, Nebojsa, The Role of Hydrogen in Emissions Scenarios, IIASA

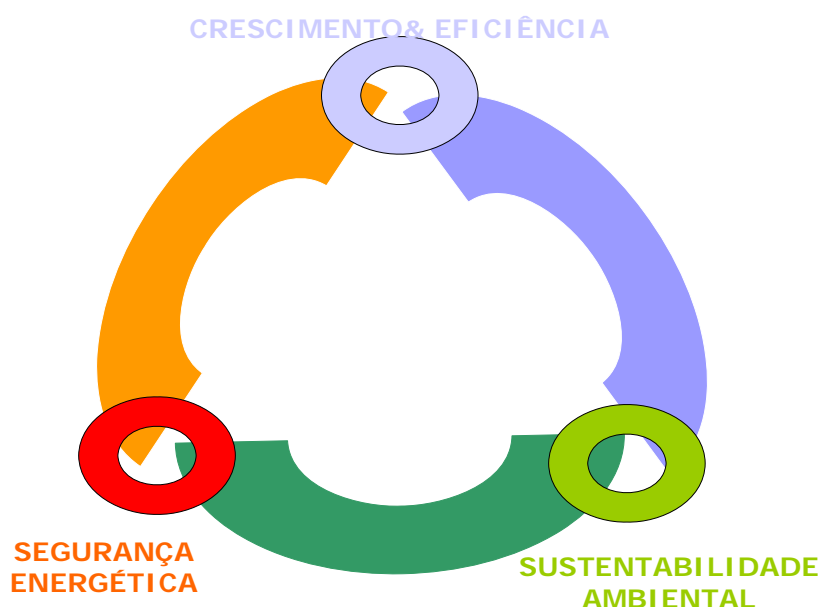
A Tecnologia é chamada a resolver várias tensões resultantes da interacção entre **três forças motrizes que resultam destas tendências:**

- ◆ **Crescimento & Eficiência** – Assegurar a disponibilidade de Energia primária com elevada densidade e com modos de utilização **com possibilidade de ganhos substanciais de eficiência** susceptível de suportar o crescimento das Economias Emergentes;
- ◆ **Segurança Energética** – Reduzir a dependência dos países desenvolvidos do petróleo e gás natural de regiões turbulentas onde se concentram as principais reservas de petróleo e gás natural respeitando as exigências de não proliferação de armas nucleares;
- ◆ **Sustentabilidade Ambiental** – Caminhar para fontes de Energia Primária e formas de Transformação energética menos agressivas para o ambiente e o clima.

Mas pode constatar-se uma grande rigidez na “carteira de tecnologias” de que se pode dispor nos próximos 20 anos com possibilidade de difusão rápida, e susceptíveis de reduzir simultaneamente a componente petróleo e gás natural no *mix* das energias primárias utilizadas e a emissão de gases com efeito de estufa sem travarem a possibilidade

de crescimento mundial. Ao mesmo tempo estão em fase de investigação & desenvolvimento uma multiplicidade de soluções de transformação energética radicalmente novas. As tecnologias – existentes e novas – vão competir entre si até se chegar a padrões mais estabilizados de preferências.

FIGURA II
TRÊS IMPERATIVOS QUE PRESSIONAM A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

2. CONSTRUÇÃO DA “CARTEIRA DE TECNOLOGIAS” DISPONÍVEL

Vamos começar por considerar que as novas tecnologias de transformação energética que poderão contribuir para responder a uma ou a várias das Forças Motrizes referidas, podem ser integradas em **quatro “famílias”** organizadas pela fonte de energia primária em que assentam:

- ◆ Economia do metano
- ◆ Economia do carvão
- ◆ Economia do(s) nuclear(es)
- ◆ Economia das energias renováveis

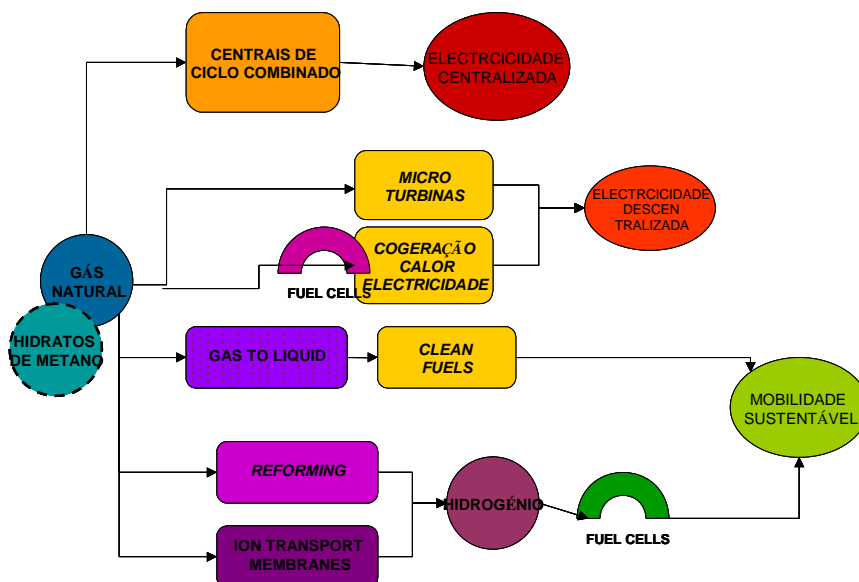
Para qualquer destas “Economias” procurou-se ver que soluções novas se poderiam esperar em termos de produção de electricidade e de mobilidade.

2.1. A Economia do Metano

Tem a sua base actual no gás natural e a sua extensão futura, no longo prazo, nos hidratos de metano existentes no fundo dos oceanos.

O gás natural, para além das suas utilizações tradicionais no aquecimento e na indústria, é hoje utilizado para produção de electricidade em centrais de ciclo combinado que funcionam para assegurar a base do diagrama de cargas nas grandes redes eléctricas.

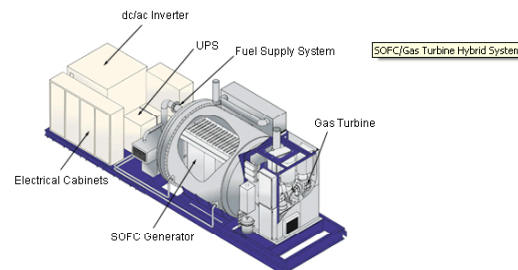
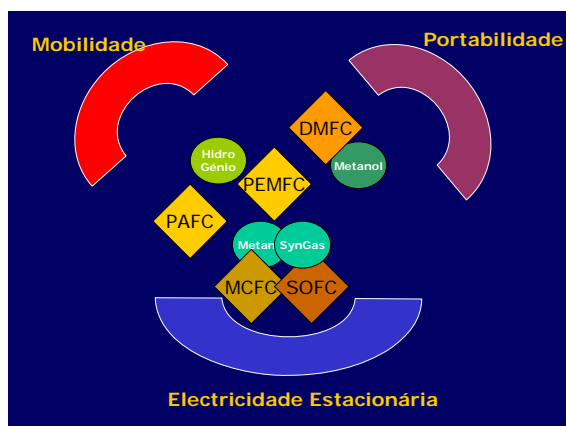
Mas a rede de gás natural pode servir de base a uma produção descentralizada de electricidade utilizando *fuel cells* que funcionam a altas temperaturas, que permitem realizar o *reforming* do metano em paralelo com a produção de electricidade.



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

FIGURA III

FUEL CELLS E GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE PARA FINS ESTACIONÁRIOS



Do Gás Natural pode chegar-se ao Hidrogénio quer utilizando as tecnologias actuais do *steam reforming*, quer as da conversão directa, em desenvolvimento. O hidrogénio pode ser obtido, quer de forma centralizada, quer com soluções descentralizadas (por exemplo, na base de mini *steam reformers*) a partir do metano. Mas a partir do metano (bem como de outros *feedstocks*) também pode ser obtido o metanol, que como substância líquida rica em hidrogénio é encarada como um possível *carrier* de eleição para aplicações móveis e portáteis.

2.2. A Economia do Carvão

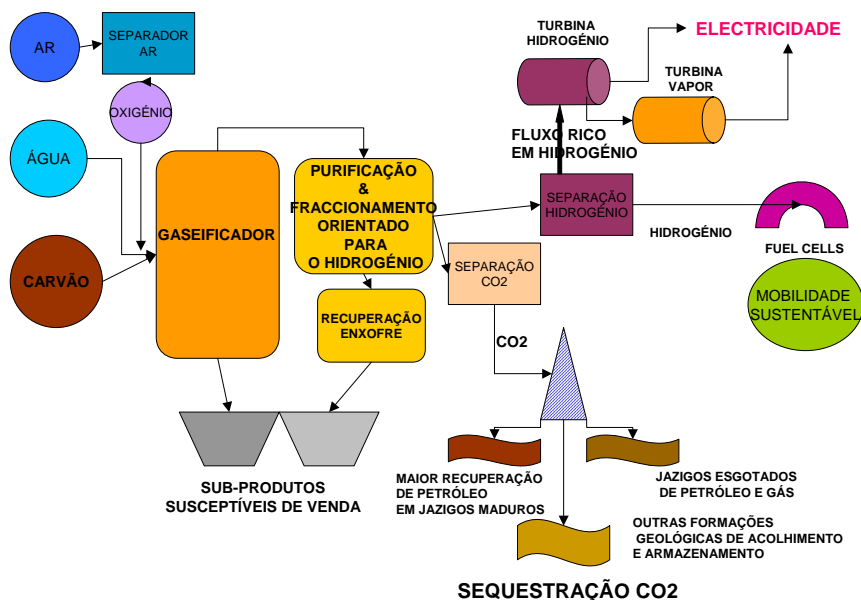
O carvão é um recurso energético ainda abundante e com uma geografia completamente distinta da do petróleo e gás. As maiores reservas mundiais e os maiores valores de produção concentram-se em cinco países – EUA, China, Índia, Austrália e Rússia – que, com excepção da Rússia são importadores líquidos de petróleo e gás natural. O carvão é ainda hoje, a nível mundial, a principal fonte de energia primária que alimenta a produção de electricidade, sendo a sua queima uma das principais fontes de emissão de CO₂ para a atmosfera. Têm vindo a ser desenvolvidas e difundidas novas tecnologias de combustão do carvão que permitem maior eficiência energética no seu uso – da combustão em leito fluidizado às tecnologias supercríticas.

Mas a “Economia do Carvão” na sua nova “encarnação” tem como base os processos integrados de gaseificação e geração de electricidade que permitem obter combustíveis sintéticos e hidrogénio e produzir electricidade com as tecnologias de ciclo combinado. Em todas estas novas abordagens é essencial o desenvolvimento de soluções de sequestro de carbono para tornar possível, simultaneamente reduzir a dependência dos hidrocarbonetos e controlar a emissão de gases com efeito de estufa.

Como projecto paradigmático destas novas abordagens encontra-se o projecto FUTUREGEN dos EUA cujo objectivo é a construção da primeira central experimental integrada para produção de electricidade e hidrogénio a partir do carvão, com sequestro do CO₂ produzido, por forma a construir a primeira central com zero de emissões de gases com efeito de estufa, utilizando combustíveis fósseis. O projecto FUTUREGEN utilizará, de forma integrada, um conjunto de tecnologias em fase de desenvolvimento/experimentação:

- ◆ Tecnologias Avançadas de Gaseificação do carvão, integradas com a utilização de uma Central de Ciclo Combinado, funcionando com gases produzidos na fase anterior, para a produção de electricidade;
- ◆ Tecnologias de Produção de Hidrogénio;
- ◆ Tecnologias de Captura e Sequestro de dióxido de carbono, presente nas emissões.

O PROJECTO *FUTUREGEN*



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

ESTADO DE ARTE DA CCS

A bandeira do Departamento de Energia dos EUA, o programa FutureGen, é consistente com a recomendação de iniciar a integração de projectos de demonstração à escala. Mas, o êxito em reduzir as emissões de CO₂ depende, em última instância, da adesão a políticas de mitigação e denota-se fraco progresso nos acordos internacionais.

O programa envolve um investimento de mil milhões de dólares na instalação de uma central com a capacidade de gerar 275 Mw de electricidade em 2012, o que seria suficiente para abastecer 150 mil casas nos EUA. A tecnologia-chave é a gaseificação do carvão, num processo que converte o carbono do carvão em gás comprimido, sobretudo hidrogénio e monóxido de carbono. Este gás reage com o vapor para produzir hidrogénio adicional e dióxido de carbono concentrado. O hidrogénio capturado no final do processo de gaseificação é, antes de mais, utilizado em turbinas geradoras de electricidade, podendo ainda ser utilizado nas *fuel cells* e outras tecnologias baseadas no hidrogénio. O CO₂ captado é separado do hidrogénio e armazenado em formações salinas profundas.

Segundo um estudo recente do MIT, a verdade é que nenhum dos actuais projectos de CCS está operacional. Um dos principais pontos críticos prende-se com os custos envolvidos para uma dimensão mínima adequada - seriam necessários pelo menos 3 projectos nos EUA e 10 no resto do Mundo para cobrir o leque das formações geológicas acessíveis para um armazenamento a larga escala. Sequestrar uma gigatonelada de carbono por ano (cerca de 4 gigatoneladas de CO₂) implica injectar cerca de 50 milhões de barris por dia de CO₂ em centrais que tenham capacidade instalada de 600 a 1000 megawatts. Uma dimensão que determina um custo de 15 milhões de dólares/ano para um período de dez anos, sem incluir o custo da aquisição do CO₂.

Do ponto de vista tecnológico, a prioridade é demonstrar a captura de CO₂ para várias tecnologias de combustão e conversão do carvão. Actualmente, o Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (Integrated Gasification Combined Cycle – IGCC) é o principal candidato para a produção de electricidade com captura de CO₂, porque se estima ter um custo inferior ao carvão pulverizado com captura, mas a verdade é que nem o IGCC nem outras tecnologias do carvão foram demonstradas. Por isso, abordagens com captura, como a pulverização do carvão pela queima de oxigénio, especialmente quando o carvão é de fraca qualidade, podem vir a ser tão atractivas como o IGCC. Aprofundar a investigação fundamental em subáreas como as técnicas de separação do CO₂ afigura-se essencial. A diversidade do tipo de carvão quanto ao calor, enxofre, água e cinzas gera várias opções, mas o argumento mais esgrimido tem sido de que a penalização futura subjacente à utilização intensiva de carvão deve conduzir a uma preferência pela tecnologia com menor custo ou que as centrais devem estar aptas para a captura, ou seja apenas IGCC.

Factores como o potencial aperto dos padrões de qualidade do ar, uma futura taxa de carbono ou a possível assistência financeira para concretizar o IGCC pode favorecer a escolha tecnológica, mas as oportunidades centradas na eficiência, capacidade de utilizar carvão a baixo custo, de habilitar a central para uma pronta resposta às condições da rede e a confiança em alcançar maiores níveis de eficiência, poderiam favorecer a escolha da tecnologia de carvão pulverizado supercrítico (SCPC).

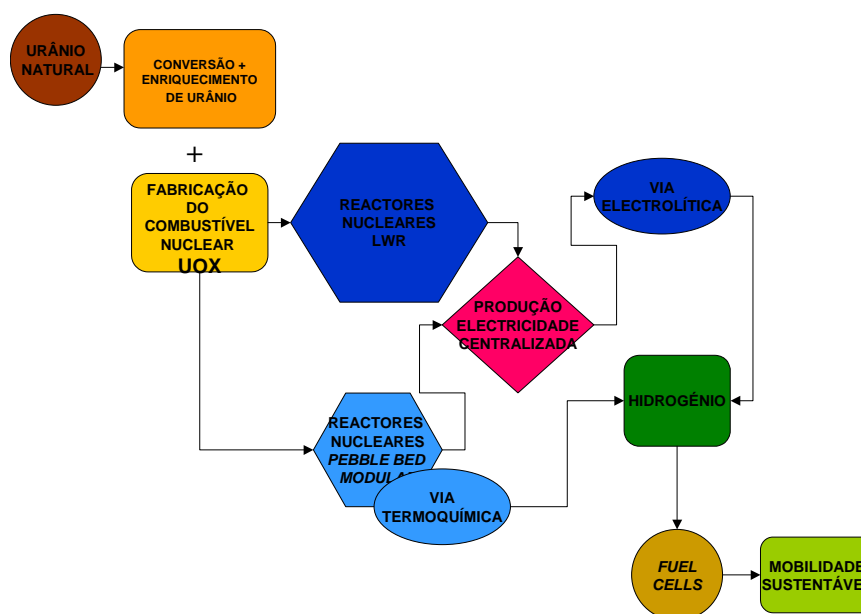
2.3. A(s) Economia(s) do Nuclear

A economia do nuclear tem uma versão centrada na 3^a geração de reactores com tecnologia de água ligeira, orientados para a monoprodução de electricidade com base em turbinas a vapor (e não em turbinas a gás, mais eficientes). No seio desta 3^a geração encontram-se:

- ◆ novas gerações (gerações III e III+) da tecnologia de reactores que hoje dominam o mercado – os Reactores de Água Leve, nas suas versões PWR (*pressurized water reactor*) ou BWR (*boiling water reactor*) – ou novas gerações de tipos de reactores que actualmente ocupam margens do mercado – como o CANDU; gerações essas que introduzem modificações incrementais dirigidas para a melhoria da segurança, (por exemplo, com incorporação de medidas de segurança passivas que não exigem intervenção humana para impedir acidentes, em caso de mau funcionamento, e maior eficiência na utilização do combustível nuclear), maior estandarização para simplificar a certificação e reduzir o custo de instalação e de capital;
- ◆ reactores com a mesma base tecnológica mas modulares e mais compactos, com as turbinas a vapor e o sistema primário de arrefecimento incorporados no próprio corpo principal do reactor), permitindo dimensão de um terço dos desenhos mais comuns atrás referidos (mais adaptados aos mercados dos países em desenvolvimento) como é o caso do projecto internacional liderado pela Westinghouse, o IRIS.

Por sua vez, as soluções tecnológicas nucleares ditas de 4ª Geração, incluem a dos **reactores de alta temperatura refrigerados a gás**, permitem obter electricidade e hidrogénio, este seguindo uma via de maior eficiência do que a electrólise – trata-se da termólise, que por via de altas temperaturas decompõe a água nos seus constituintes – hidrogénio e oxigénio. Os reactores do tipo PBMR (*Pebble Bed Modular Reactor*), a serem desenvolvidos na China e na África do Sul, baseiam-se num desenho alemão desenvolvido para uma unidade experimental nos anos 60 a 80; o combustível nuclear está contido em mais de 400 mil esferas do tamanho de uma bola de bilhar – as *pebbles* – cobertas com carvão pirolítico e que no seu interior contêm micro-esferas de urânio enriquecido; o hélio é aqui utilizado como refrigerador do reactor, mas é utilizado num ciclo indirecto para geração de electricidade; com efeito, o hélio, depois de passar pelo *core* do reactor, passa por um permutador de calor intermédio e só depois transfere o calor para um ciclo secundário de conversão que faz accionar o turbo gerador de electricidade; esta separação assegura que não haja transferência de elementos radioactivos do reactor para o sistema de produção de electricidade. Uma das vantagens a prazo dos PBMR é a de abrirem para a possibilidade de produção económica e em larga escala de hidrogénio, por via termoquímica, graças às temperaturas elevadíssimas atingidas no seu *core*.

VIAS DO NUCLEAR BASEADO NO URÂNIO – CICLOS ABERTOS



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

A 4ª geração em fase de I&D inclui também um conjunto de soluções alternativas de ciclo fechado (reprocessamento do combustível usado) orientadas para a geração de electricidade, a produção de hidrogénio e a gestão de actínídeos

NUCLEAR DE 4ª GERAÇÃO

Por iniciativa dos EUA foi constituído em 2000 o **GIF – Generation IV International Forum** destinado a congregar esforços de múltiplos países no desenvolvimento de novos desenhos de reactores nucleares que pudessem vir a assegurar menores custos, muito maior segurança, serem resistentes à proliferação e minimizarem os problemas dos resíduos.

O **GIF** integra, actualmente, os EUA, Canadá, Japão, Coreia do Sul, Reino Unido, França, Suíça, Brasil e África do Sul e o EURATOM. O GIF analisou cerca de uma centena de conceitos de reactores e acabou por seleccionar seis, como focos para desenvolvimento futuro: dois obedecendo ao conceito de “ciclo aberto” e três de “ciclo fechado” e todos eles operando a temperaturas muito superiores às que se verificam nos reactores das Gerações II e III:

- **SCWR – Supercritical-Water-Cooled Reactor System:** pode revestir opções de ciclo aberto ou fechado; está mais orientado para a produção de electricidade, com a opção para a gestão de actínidos no caso da opção pelo ciclo fechado; aponta para instalações de grande dimensão, monolíticas e apostadas na exploração de economias de escala;
- **GFR – Gas Cooled Fast Reactor System:** é um sistema de ciclo fechado orientado para a produção de electricidade e a gestão de actínidos, embora possa vir também a suportar a produção de hidrogénio; aponta para instalações de dimensão média e monolíticas;
- **LFR – Lead Cooled Fast Reactor System:** é um sistema de ciclo fechado orientado para a produção de electricidade e de hidrogénio e a gestão de actínidos; aponta para instalações que tanto podem ser do tipo grande dimensão, monolíticas e explorando as economias de escala como modulares e de mais pequena dimensão;
- **MSR – Molten Salt Reactor System:** é um sistema de ciclo fechado orientado para a produção de electricidade e queima de desperdícios radioactivos; aponta para instalações de grande dimensão, monolíticas e apostadas na exploração de economias de escala;
- **SFR – Sodium Cooled Fast Reactor System:** é um sistema de ciclo fechado orientado para a produção de electricidade e a gestão de actínidos; aponta para instalações de grande dimensão, monolíticas e apostadas na exploração de economias de escala.

Mais recentemente, surgiram avanços no desenvolvimento de **reactores funcionando a tório** e não a urânio que apresentam as dificuldades inerentes à subcriticalidade do tório (ou seja sem haver uma emissão de neutrões não se desencadeia a reacção em cadeia que alimenta o reactor) mas têm grandes vantagens – uma base de recursos naturais em tório muito mais abundante do que o urânio (a Austrália e a Índia detêm os dois maiores volumes de reservas); um ciclo do combustível nuclear que é muito mais resistente à proliferação, já que não se torna necessário proceder ao enriquecimento do urânio; uma produção de resíduos radioactivos muito menor que no ciclo actual (além de estes resíduos terem uma vida muito inferior) e uma maior eficiência na “queima” do combustível nuclear.

- ◆ uma abordagem seguida por uma empresa dos EUA (*Thorium Power*) utiliza uma mistura de combustíveis nucleares – tório, urânio enriquecido e plutónio – estando

no centro das barras de combustível a “semente” – neste caso plutónio – que ao fornecer os neutrões adicionais, permite a ignição do ciclo de combustível nuclear do tório, enquanto o urânio enriquecido e o plutónio também estão envolvidos em fissão nuclear; este sistema tem a vantagem de poder ser utilizado nas actuais centrais a urânio enriquecido, desde que sujeitas a modificações;

- ◆ outra abordagem, recentemente apresentada por cientistas da Índia – o ATBR - não necessita de urânio natural ou enriquecido, utiliza o plutónio como “semente” (podendo assim funcionar como um “incinerador” do plutónio disponível após o desmantelamento de milhares de armas nucleares), gera internamente urânio U233, que pode ser ele próprio utilizado como combustível para produzir electricidade e fazendo-o em quantidades que permite quase atingir um equilíbrio entre o gasto de materiais físeis e a produção de outro material físsil (U233); o reactor apresentado pela Índia em 2005 produz 600 MW de electricidade, sem necessitar de realimentação em combustível durante dois anos (devido a esta característica de funcionar quase como um *breeder reactor*, gerando material físsil em quantidade);
- ◆ uma outra abordagem, devida ao físico Carlo Rúbia e conhecida por *Accelerator Driven System (ADS)* procura resolver a sub-criticalidade do tório utilizando um acelerador de partículas que lança protões de alta energia sobre um alvo (um *spallation target*) que por sua vez liberta os neutrões que ao colidirem com o núcleo do tório desencadeiam o ciclo de combustível que acaba com a fissão do U233.

DUAS DIRECÇÕES DE EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA COM FORTES CONSEQUÊNCIAS NAS SOLUÇÕES ENERGÉTICAS

A EXPLORAÇÃO ESPACIAL – DA PROPULSÃO QUÍMICA À PROPULSÃO ELECTROMAGNÉTICA

Desde o princípio da exploração do Espaço que a propulsão utilizada pelos lançadores foi sempre química, utilizando, por exemplo compostos com base em hidrogénio. Ora, actualmente, face aos desafios colocados quer pela necessidade de colocar cargas mais volumosas no espaço, quer pelas exigências por missões tripuladas mais longínquas e de muito maior duração, como a ida a Marte, estão a obrigar a uma mudança radical dos sistemas de propulsão em direcção a sistemas de propulsão eléctrica, permitindo ultrapassar limitações da propulsão química como a baixa velocidade de exaustão, nunca superior a 3,5 Km/s, e a “obrigação” de “carregar” um volume de combustível muito superior à carga que podem deslocar. As primeiras experiências de propulsão eléctrica foram do tipo electrotermais (*resistojets arc jets*) depois seguidas por sistemas de propulsão electrostática – como a propulsão iónica.

Hoje está na ordem do dia o desenvolvimento dos primeiros motores a plasma de que é exemplo o VASIMIR destinado à viagem tripulada a Marte em preparação pela NASA. Trata-se de um motor que utiliza um gás – hidrogénio – que é ionizado graças a geradores de rádio frequências, sendo o plasma resultante a altíssima temperatura (da ordem dos milhões de graus em vez das centenas de milhar obtidos em propulsão química), “contido” por magnetos supercondutores e “expulso” a velocidades variáveis, mas nunca possíveis com a propulsão química. Mas as soluções de motores a plasma exigem uma fonte de electricidade a bordo compacta mas intensa. Qual? Reactores nucleares embarcados?

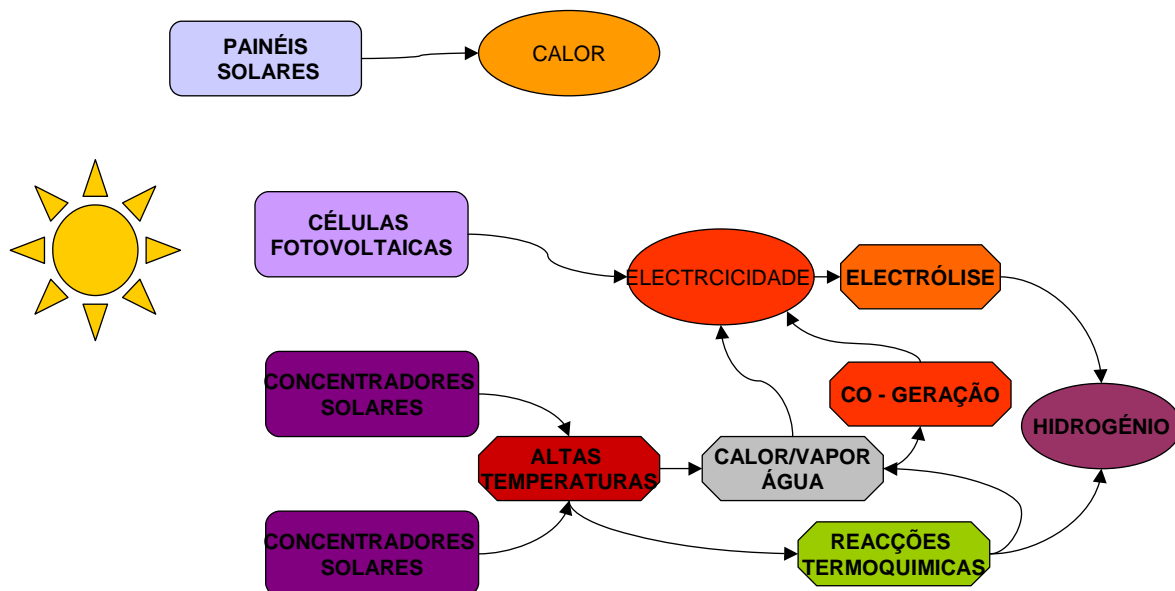
OS NAVIOS DE GUERRA DO FUTURO – DOS EXPLOSIVOS ÀS ARMAS ELECTROMAGNÉTICAS

A Marinha dos EUA experimentou com sucesso, em Janeiro de 2008, uma arma electromagnética – do tipo *rail gun* – destinada a atingir alvos com grande precisão e poder de destruição incomparavelmente superior aos explosivos químicos convencionais. O projectil deslocou-se a 5 vezes a velocidade do som, atingindo um alvo a 200 milhas com uma precisão de 5 m. As armas electromagnéticas como o *rail gun* além de apresentarem estas características dispensam a concentração de explosivos a bordo, permitem construir navios mais leves, integralmente eléctricos na sua propulsão. A fonte de energia tem de ser uma fonte pulsada (vd. um *compensated pulsed alternator*) ou seja, capaz de produzir pulsos de energia eléctrica com enormes potências?

As novas gerações de armas de energia dirigida tanto podem vir a ser utilizadas contra alvos em terra ou nos oceanos, como contra alvos no espaço. Mas, em ambos os casos, exigem que a bordo das plataformas em que se baseiem exista uma fonte de produção de electricidade de grande potência e suficientemente compacta para ser transportável sem afectar a *performance* global da plataforma. Qual?

2.4. A Economia das Renováveis

A economia das energias renováveis pode permitir obter electricidade em soluções descentralizadas, embora mais capital intensivas do que por exemplo as que utilizam gás natural, ou terminar na produção de hidrogénio pela via da electrólise. Mesmo que sejam mais capital intensivas as energias renováveis – eólica *onshore* e *offshore*, solar fotovoltaica e solar térmica de alta temperatura ou ainda ondas/marés – ao terem menores riscos face à volatilidade dos preços do gás natural, farão sempre parte de um *mix* desejável nos sistemas eléctricos cujas redes terão, no entanto, que se adaptar às características específicas deste tipo de energias.



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

As Energias Renováveis podem combinar-se com a produção de Hidrogénio que constituiria uma das formas de armazenar este tipo de energias intermitentes, em paralelo com outras formas de armazenamento (vd. combinação hídricas/eólicas, eólicas /hidrogénio *wind hydrogen*; e eólicas/baterias).

Propostas de grande dimensão, como a feita para a Patagónia na Argentina, vão no sentido de utilização de electricidade eólica em larguíssima escala, orientada para a produção de hidrogénio por electrólise em instalações centralizadas, e posterior exportação para a Europa.

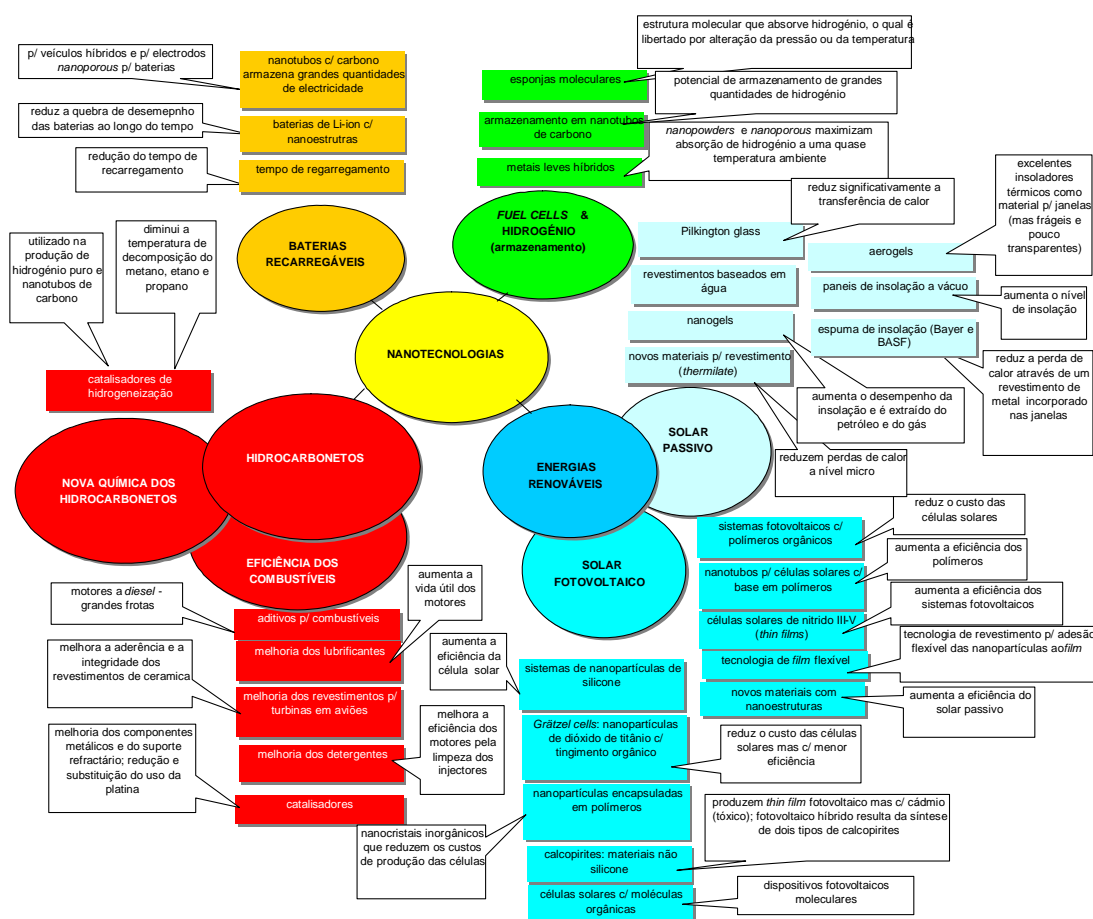
A utilização da energia solar sob a forma de concentradores solares, permitindo alcançar temperaturas de muitas centenas de graus centígrados, poderá eventualmente abrir a possibilidade de produção de hidrogénio por termólise.

NANOTECNOLOGIAS E NOVAS SOLUÇÕES ENERGÉTICAS

A Nanotecnologia pode ser definida como o estudo e a manipulação de materiais a uma escala nanométrica¹. A nanotecnologia é uma “ciência” relativamente recente. Tendo um carácter multidisciplinar, a investigação e desenvolvimento fundamental é crucial. Em alguns domínios, as nanotecnologias atingiram um grau de desenvolvimento e de maturação que podem já ser incorporadas nos produtos.

No domínio da energia, as potencialidades das nanotecnologias são muito significativas, designadamente na produção e armazenamento de energia (electricidade, solar fotovoltaico, termovoltáico, hidrogénio e pilhas de combustível), na eficiência energética (insolação de edifícios, iluminação, eficiência dos motores de combustão, novos materiais mais leves) e em novas trajectórias de processamento dos hidrocarbonetos.

AS APLICAÇÕES DAS NANOTECNOLOGIAS



Fonte: Elaborado por DPP, com base em DEFRA, 2007

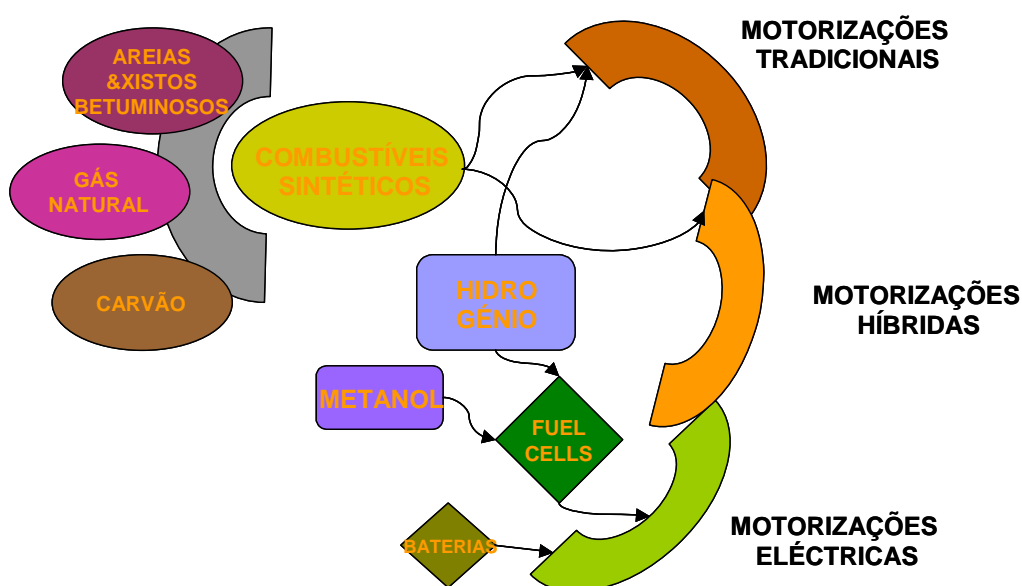
¹ Oakdene Hollins, "Environmentally Beneficial Nanotechnologies – Barriers and opportunities" – Department for Environment, Food and Rural Affairs, May 2007.

2.5. Os Biocombustíveis e a Mobilidade Sustentável

Os Biocombustíveis, sobretudo os de segunda geração – não dependentes de espécies vegetais também utilizadas na alimentação humana – podem dar um contributo significativo – em certas regiões do mundo – à redução da dependência do petróleo além de terem, no conjunto do seu ciclo, um efeito menor em termos de emissões de gases com efeito de estufa do que os combustíveis fósseis. Mas a mobilidade sustentável e compatível com uma maior segurança energética vai passar também por outro tipo de soluções:

- ◆ utilização de combustíveis sintéticos derivados do carvão, do gás natural ou de petróleo não convencional;
- ◆ utilização em larga escala de motorizações híbridas ou eléctricas, recorrendo a baterias ou a *fuel cells*.

FIGURA IV
VÁRIAS VIAS PARA UMA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL



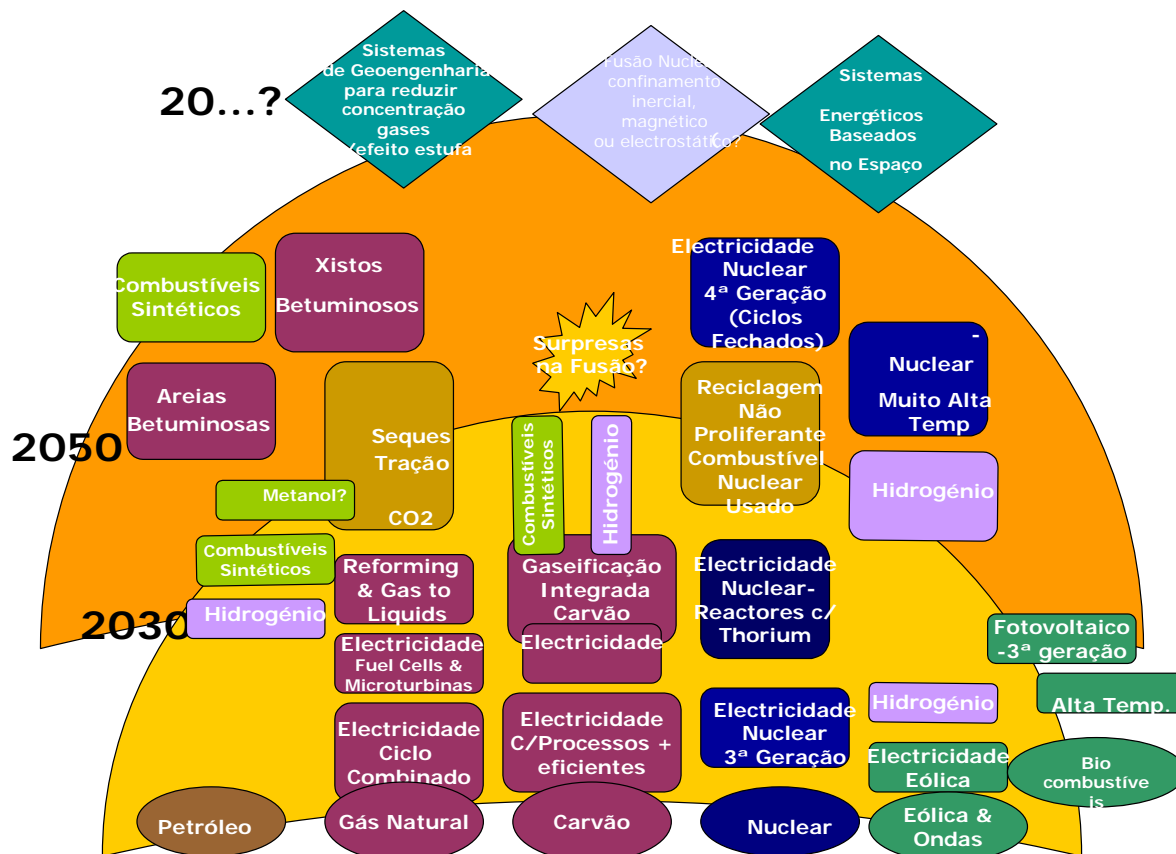
Fonte: Elaborado por DPP, 2008

FIGURA V
O FUTURO DA MOBILIDADE?



2.6. Síntese – Uma Carteira de Tecnologias em Diferentes Horizontes Temporais

FIGURA VI
UMA LISTAGEM DE TECNOLOGIAS PERTENCENTES A VÁRIAS “ECONOMIAS” E COM DIFERENTES HORIZONTES TEMPORAIS DE DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

DUAS WILDCARDS

A REVOLUÇÃO DOS “HIDRINOS” UMA HIPÓTESE PLAUSÍVEL?

Os cientistas da empresa *Blacklight Power* dos EUA e o seu fundador, *Randel Mills* defendem há vários anos, que o hidrogénio, o mais abundante elemento na natureza e o mais simples dos átomos – com apenas um electrão e um núcleo com um protão – “esconde” um enorme potencial energético no seu interior que pode ser libertado se se fizer este electrão mudar de órbita, colocando-o mais próximo do núcleo, do que resultaria libertação de energia em grandes quantidades e novas propriedades, dando origem a uma nova forma de hidrogénio – o **Hidrino**.

Esta transformação operar-se-ia quando átomos de hidrogénio sejam misturados com iões catalíticos a baixas pressões. Transformação que a verificar-se contrariaria a mecânica quântica que afirma que os electrões apenas podem existir num átomo em órbitas estritamente definidas e que a mais curta distância permitida entre um protão e um electrão no hidrogénio é fixa, ou seja não pode variar como o pretende *Randall Mills*.

Randall Mills afirma ter construído um protótipo de uma nova fonte de energia baseada no **Hidrino** que geraria até mil vezes mais energia calórica do que um combustível comum. O Hidrino poderia ainda permitir obter novos compostos químicos com os quais construir baterias fornecendo potências muito superiores às actuais em percursos de muitas centenas de Km.

A NASA, através do seu Institute for Advanced Concepts (NIAC) e no quadro da sua pesquisa de formas de propulsão espacial de alta *performance* avaliou, em 2002, o potencial de um sistema de propulsão de baixa pressão e plasmas mistos de hidrogénio baseado no princípio da *Blacklight Power Process* e confirmou que com um sistema destes seria possível obter motores de *ultra high specific impulse* com *performances* muitas vezes superiores aos de sistemas de propulsão química.

A FUSÃO POR CONFINAMENTO INERCIAL ELECTROSTÁTICO E A CORRIDA AO HÉLIO 3

A Fusão Nuclear tem sido procurada nas últimas décadas por duas vias principais:

- a abordagem que aposta confinamento magnético dos plasmas com base no conceito do Tokamak, que está na origem do reactor em construção no âmbito do projecto internacional ITER;
- a abordagem que combina lasers e plasmas e está na base da National Ignition Facility, na Califórnia.

Mais recentemente as atenções deslocaram-se para abordagens alternativas das quais uma das mais promissoras é a do FUSOR, conceito desenvolvido por Philo Farnsworth quando nos anos 50, e na ITT, realizava os últimos desenvolvimentos das válvulas electrónicas que constituem a peça fulcral da TV. O conceito do FUSOR de Fransworth, conhecido actualmente por confinamento inercial electrostático, assenta na existência de uma rede esférica de material condutor colocada no interior de um contentor esférico metálico onde existiria uma mistura de dois gases – deutério e trítio (dois isótopos pesados de hidrogénio); a aplicação de um forte potencial negativo na rede interior provocaria a ionização da mistura dos gases e a aceleração das partículas ionizadas para o centro do dispositivo onde se formaria um plasma de alta densidade, que seria continuamente “bombardeado” com catiões de alta energia; alguns desses iões com carga positiva colidiriam nesse centro e fundir-se-iam.

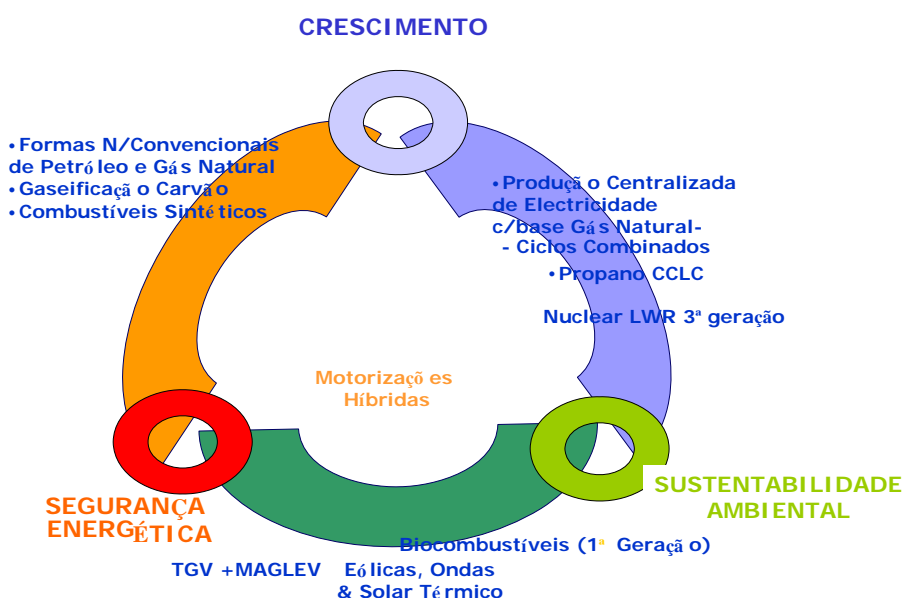
Este conceito representa uma alternativa radicalmente diferente das anteriores, ao permitir a conversão directa da energia nuclear por fusão em electricidade, sem ter que passar pela conversão mecânica do calor em electricidade como acontece nas duas variantes que constituem o *mainstream* da I&D actual e sem os riscos associados às radiações.

Recentemente ainda este conceito tem sido associado à utilização do Hélio 3, em vez da mistura de deutério e trítio. Esta abordagem tem um problema – para obter Hélio 3 tem que se ir “buscá-lo” à Lua. EUA, China e Índia já tornaram explícito que um dos objectivos que os seus programas espaciais incorporam é a mineração da Lua para obter Hélio 3.

3. SITUANDO AS TECNOLOGIAS FACE ÀS FORÇAS MOTRIZES – AS LIMITAÇÕES DA ACTUAL “CARTEIRA DE TECNOLOGIAS”

Procurámos posicionar as novas tecnologias energéticas face às três Forças Motrizes – Crescimento & Eficiência; Segurança Energética e Sustentabilidade Ambiental, distinguindo as fases de desenvolvimento em que se encontram e o impacto preferencial de novas tecnologias energéticas, em termos dessas Forças Motrizes.

FIGURA VII



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

A Figura VII permite compreender com facilidade como é limitada actualmente a oferta de alternativas ao petróleo e ao gás natural. Com efeito:

a) Existem tecnologias energéticas que permitem compatibilizar **“Crescimento & Eficiência”** com **“Segurança Energética”** mas que estão distantes do vértice **“Sustentabilidade Ambiental”**. Tais são os casos de:

- ◆ Formas não convencionais de petróleo e gás natural;
- ◆ Tecnologias de Gaseificação Integrada de Carvão;
- ◆ Tecnologias de obtenção de combustíveis líquidos sintéticos a partir de recursos energéticos sólidos ou gasosos.

b) Existem Tecnologias que permitem compatibilizar **“Crescimento & Eficiência”** com **“Sustentabilidade Ambiental”** mas que estão longe do vértice **“Segurança Energética”** como são:

- ◆ as tecnologias de produção de electricidade nuclear de 3^a geração que continuam baseadas no enriquecimento do urânio e no ciclo de combustível nuclear desenvolvido para fins militares (explosivos e reactores para submarinos) e encontram as limitações de disponibilidade de urânio e os riscos de proliferação nuclear;
- ◆ as tecnologias que melhoram a eficiência das turbinas a gás dando um passo adiante das centrais de ciclo combinado.

c) Existem tecnologias que permitem compatibilizar “**Segurança Energética**” e “**Sustentabilidade Ambiental**” mas que se encontram longe do vértice “**Crescimento**”, pois nunca poderão aspirar a constituir uma componente significativa da energia nas economias em crescimento rápido ou maduras:

- ◆ as energias renováveis com base mecânica - hídricas, eólicas, ondas;
- ◆ as energias renováveis com base electrónica - o solar fotovoltaico;
- ◆ os biocombustíveis com base em espécies ricas em açúcar ou em óleos;
- ◆ os comboios de alta velocidade.

d) Mas existe um número reduzidíssimo de tecnologias já disponíveis para difusão rápida que se aproxime do **centro do triângulo**, ou seja que satisfaçam as três exigências, sendo as **motorizações híbridas** candidatas a esta posição.

Percebe-se, assim, que o que está em causa com a simultânea elevação do preço do petróleo e gás natural e a criação de restrições à utilização de combustíveis fósseis envolvendo a sua queima por razões climáticas é uma **mudança radical de paradigma energético à escala mundial** que demorará muitas décadas a concretizar-se e a difundir-se no planeta – não sabendo nós até que limite se poderá ir nas emissões sem causar danos irreparáveis. Há duas dinâmicas tecnológicas que são cruciais nessa mudança de paradigma:

1^a DINÂMICA – Deslocar as tecnologias que se posicionam ao longo de cada um dos lados do triângulo um pouco mais para o interior deste (vd. Figura VIII):

a) Tecnologias com base no lado “Segurança Energética/Crescimento”

- ◆ Tecnologias de Captação e Sequestro de Carbono acopladas à Gaseificação Integrada de Carvão, à utilização de formas não convencionais de petróleo para produção de combustíveis sintéticos;
- ◆ Tecnologias de Produção de Electricidade distribuída em larga escala sob a forma de co-geração com calor, com base em *Fuel Cells* do tipo SOFC, utilizando gás natural ou gás de síntese.

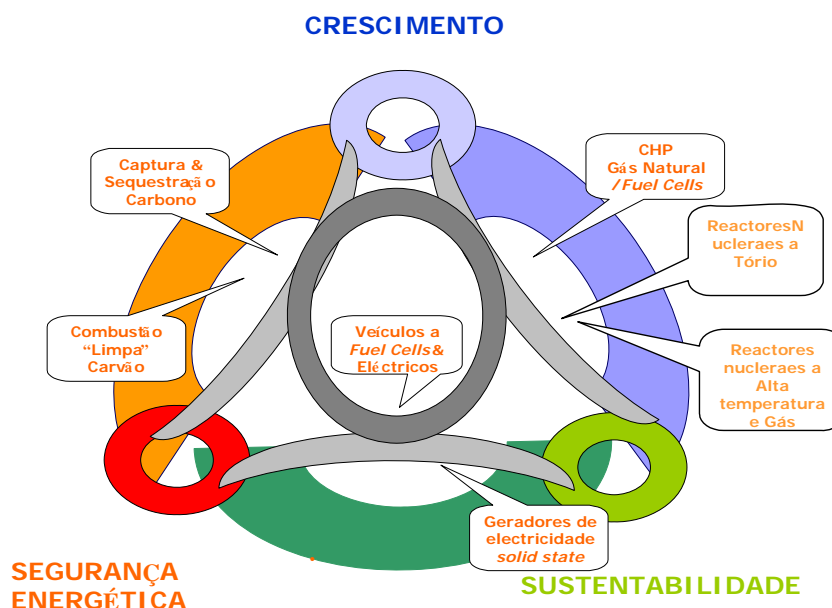
b) Tecnologias com base no lado “Sustentabilidade/Crescimento”

- ◆ Tecnologia dos reactores nucleares funcionando a tório e ciclo do combustível nuclear próprio;
- ◆ Tecnologias dos reactores nucleares de Alta Temperatura arrefecidos a gás para produção de electricidade e hidrogénio;
- ◆ Tecnologias de produção de electricidade distribuída em larga escala com base em *Fuel Cells* do tipo SOFC, utilizando gás natural ou gás de síntese.

c) Tecnologias com base no lado “Segurança Energética/Sustentabilidade”

- ◆ Motorizações híbridas e eléctricas com base em *fuel cells* e (eventualmente a metanol) e em baterias recarregáveis na rede (*plug in*) que numa fase inicial são pouco acessíveis às economias emergentes mas permitirão grandes ganhos de eficiência energética na mobilidade dos países desenvolvidos.

FIGURA VIII



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

2ª DINÂMICA – Desenvolver os conceitos tecnológicos que se localizem claramente no centro do triângulo:

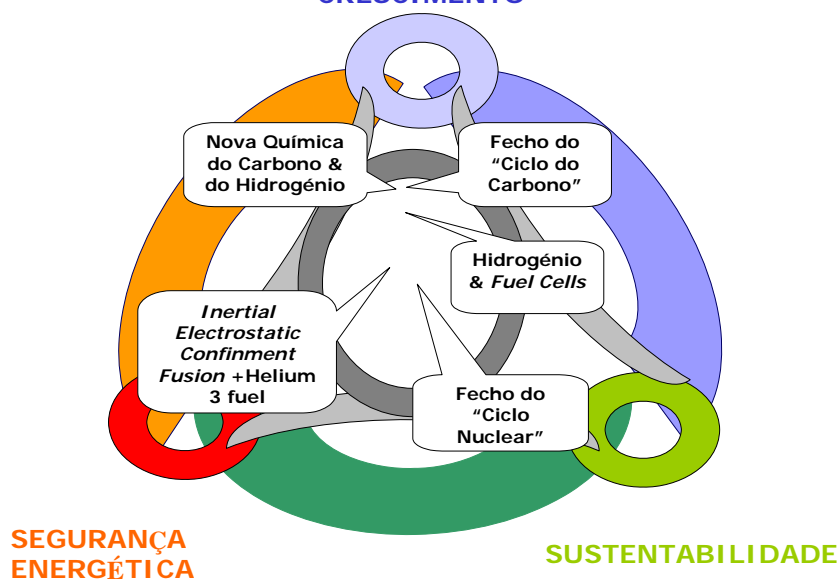
- ◆ As tecnologias que permitam utilizar os combustíveis fósseis de forma mais sustentável alterando o *mix* do que se pretende obter com eles – como por exemplo as tecnologias que permitam extrair do gás natural combustíveis mais

ricos em hidrogénio utilizáveis em *fuel cells* e materiais ricos em carbono, sob a forma de nanotubos de carbono (para fins estruturais ou funcionais);

- ◆ as tecnologias que permitam “fechar” o “ciclo do carbono antropogénico ou seja, que atribuam uma utilidade mercantil ao CO₂ libertado nos actuais processos de produção, utilizando-o por exemplo na produção de combustíveis sintéticos mais ricos em hidrogénio (vd. proposta da “economia do metanol”);
- ◆ as tecnologias que permitam fechar o “ciclo nuclear” permitindo reduzir os resíduos e afastar as limitações na oferta de minérios radioactivos, mas sem cair na “economia do plutónio”;
- ◆ e sobretudo as tecnologias da fusão nuclear mais inovadoras como as que se baseiam no Hélio 3 e no confinamento inercial electrostático.

FIGURA IX

CRESCIMENTO



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

PARA UMA ESTRATÉGIA DE ENERGIA SUSTENTÁVEL

Num texto publicado em 2005 *Klaus Lackner e Jeffrey D. Sachs* identificaram um conjunto de pressupostos para definição de uma Estratégia Robusta de Energia Sustentável:

- a utilização de grandes quantidades de energia é central ao funcionamento de economias avançadas, sendo numerosas as limitações à conservação de energia, mesmo quando pensamos no longo prazo; o crescimento económico global arrastará assim inevitavelmente um forte aumento no consumo de energia primária;
- os recursos energéticos, e nomeadamente os combustíveis fósseis, são fungíveis, podendo transformar-se uns nos outros; assim o carvão pode ser transformado em combustíveis líquidos equivalentes à gasolina a um preço comportável; e o mesmo acontece com combustíveis fósseis não convencionais como as areias ou os xistos betuminosos ou potencialmente os hidratos de metano localizados no fundo dos oceanos; por sua vez fontes energéticas descarbonizadas como a energia nuclear ou solar poderiam facilmente fornecer cada uma delas um parte substancial das necessidades energéticas mundiais no longo prazo, embora ambas se deparem com problemas no curto prazo que dificultam a sua utilização;
- não existem no longo prazo (no horizonte do actual século) problemas sérios de restrição física na oferta de combustíveis fósseis, uma vez que se tenha em conta a interconvertibilidade entre o petróleo e outros desses combustíveis; e mesmo que se atinja o *"peak oil"*, ou seja o ponto em que a produção mundial de petróleo atinja o máximo, tal não significa falta de recursos energéticos aos preços actuais; no entanto a transição do petróleo para outras fontes de combustíveis líquidos exigirá um período de transição significativo e gerir essa transição deve fazer parte das políticas públicas;
- os maiores constrangimentos na utilização de combustíveis fósseis são possíveis de emergir de preocupações de ordem ambiental, e especialmente do acréscimo da concentração de CO₂ na atmosfera, funcionando como gás com "efeito de estufa"; as emissões de carbono terão que ser mitigadas, porque um cenário de *business as usual* engendra riscos globais graves; e o facto de poderem existir limites na oferta global de petróleo não reduz os riscos associados às emissões de CO₂, já que o carvão e outros combustíveis fósseis podem, em qualquer hipótese, compensar o declínio na oferta de petróleo e gás natural, mas sendo as suas emissões, com as actuais tecnologias, ainda mais geradoras de emissões de CO₂;
- existem tecnologias quase disponíveis para aplicação na mitigação do desafio do carbono na primeira metade deste século, e a custo modesto; a peça central de uma estratégia desse tipo deverá ser a captação e sequestração de carbono (CCS) nas centrais térmicas produtoras de electricidade e nalgumas unidades industriais de sectores como a siderurgia ou o fabrico de cimento. O custo de implementação destas tecnologias numa larga escala deverá situar-se abaixo do 1% do PNB mundial se forem implementadas com um longo período de transição. E em adição às tecnologias CCS a conversão das frotas automóveis para motorizações híbridas ou para outras tecnologias menos intensivas em carbono poderá ser muito possivelmente *cost effective* e com retorno garantido.

Fonte: Lackner, Klaus S. e Sachs Jeffrey D. " A Robust Strategy for sustainable Energy" MUSE Project 2005.

4. TRAJECTÓRIAS TECNOLÓGICAS – HORIZONTE 2030 – CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS CONTRASTADOS

4.1. A Dinâmica Evolucionária

A mutação tecnológica na área da energia tem que atravessar uma fase temporal extensa de **produção de variedade** (entendida como multiplicação de soluções e de combinações de tecnologias) antes que seja o momento de **selecção** e de **difusão** generalizada de apenas um pequeno grupo de soluções tecnológicas de utilização múltipla nas quais se concentrem os esforços incrementais posteriores (em vez destes se distribuírem por uma multiplicidade de soluções). Podemos pois definir os seguintes princípios que nortearão a dinâmica evolucionária que atravessará qualquer dos Cenários que se irão construir:

- 1) Os sistemas energéticos apresentam uma grande inércia na sua evolução;
- 2) Os desafios de sustentabilidade ambiental e de maiores restrições na oferta de petróleo e gás natural vão forçar uma mudança deste sistema a nível mundial, sem que estejam desenvolvidas as tecnologias que permitirão definir um novo paradigma;
- 3) Qualquer dos cenários tem pois que passar por um período longo em que o resultado principal é a produção de variedade – ou seja, o desenvolvimento de múltiplos caminhos para uma maior eficiência, sustentabilidade e segurança energética;
- 4) A este período segue-se um outro de selecção em que as diversas soluções experimentadas são reduzidas a dois ou três *clusters* fortemente integrados;
- 5) Os dois critérios fundamentais que levarão á Selecção das “carteiras de tecnologias” poderão vir a ser:
 - ◆ o custo de capital do ciclo completo de transformação energética dessas tecnologias (sendo que esse custo variará de modo inversamente proporcional aos ganhos de eficiência que se verificarem ao longo desse ciclo);
 - ◆ os riscos de segurança que essas tecnologias envolverem, nomeadamente os que tenham a ver com a proliferação nuclear.
- 6) O custo de capital pode vir a ser um factor determinante no processo de Selecção, levando à consolidação dos *clusters* tecnológicos que permitam obter no “ciclo” completo da sua utilização, uma menor intensidade capitalista; é compatível com o período que se vai atravessar até 2050 em que se experimentará uma redução na taxa de poupança das economias desenvolvidas (envelhecimento da população) e três acréscimos na procura de investimento a nível mundial: a emergência de economias, a experimentação de novas tecnologias, os custos de adaptação aos impactos das mudanças climáticas.

7) A Selecção pode revestir duas formas distintas:

- ◆ a selecção pode ser realizada ao nível das macro-regiões mundiais – é uma trajectória de fragmentação crescente de soluções tecnológicas energéticas a nível mundial, correspondendo de forma próxima à dotação de recursos de cada macro-região; é uma trajectória de mais elevados custos no sistema, pela impossibilidade de concentrar num ou dois *clusters* de tecnologias os investimentos de concepção e de fabrico em larga escala; é uma trajectória mais inclinada para o protecção e a autarcia;
- ◆ a selecção pode ser realizada a nível global – é uma trajectória de globalização de soluções em que a mistura de dois *clusters* dominantes poderá ser capaz de oferecer soluções generalizadas a qualquer região do mundo; é uma trajectória de menores custos e de grande abertura nas relações económicas internacionais e de disputa pela liderança tecnológica.

4.2. Construção de Cenários

Definição dos Elementos Pré-determinados

O gás natural e as tecnologias que dele se utilizam prosseguirão a sua expansão graças à sua menor intensidade capitalista e aos menores impactos ambientais na sua utilização para produção de electricidade:

- ◆ os grandes importadores de petróleo e gás natural que têm as maiores reservas de carvão – EUA, China e Índia – vão continuar a utilizar intensivamente este combustível, embora aceitando introduzir tecnologias mais limpas;
- ◆ as exigências ambientais vão determinar que as utilizações em larga escala de combustíveis fósseis, cada vez mais tenham anexos processos de sequestração do carbono;
- ◆ as energias renováveis aumentarão a sua quota de mercado, embora permaneçam minoritárias no conjunto da oferta energética a nível mundial; desempenharão um papel na redução de risco em termos de segurança energética e de cumprimento das metas de redução de gases com efeito de estufa, mas nunca poderão constituir a base de sistemas energéticos que suportem a industrialização e a urbanização em larga escala;
- ◆ as energias renováveis poderão orientar-se para a produção de electricidade ou a produção de hidrogénio ou ainda para os biocombustíveis, admitindo-se que sigam o padrão definido pela utilização de outras formas de energia primária, completando-o;
- ◆ a energia nuclear vai ter um segundo fôlego assente nas tecnologias tradicionais de reactores *LWR (Light Water Reactors)* embora com duas soluções – a franco-alemã com grandes centrais (1500 MW) e a anglo-saxónica e italiana baseada em centrais modulares de 250 a 300 MW cada uma. Este segundo fôlego, baseado nas

soluções tecnológicas hoje dominantes, permitirá na melhor das hipóteses manter a quota de mercado global que o nuclear detém actualmente.

Incertezas Cruciais Tecnológicas

Propõe-se que sejam identificadas como Incertezas Cruciais Tecnológicas, em torno das quais se poderão construir os Cenários, as seguintes :

- ◆ Mix das Energias Primárias – será que as soluções não fósseis – nuclear e renováveis – vão ganhar uma significativa quota de mercado com base na difusão mais rápida de novos conceitos de reactores nucleares **ou** os combustíveis fósseis, liderados pelo carvão, vão ter uma nova época de crescimento baseada em novas soluções tecnológicas? será que o nuclear de quarta geração se vai difundir antes de 2030, sob a forma de reactores de alta temperatura?
- ◆ Soluções p/Produção de Electricidade – será que as soluções de electricidade em monoprodução continuarão a ser dominantes **ou** vai-se assistir a uma deslocação para tecnologias que permitem soluções de co-geração (electricidade/calor; electricidade /hidrogénio; electricidade/ combustíveis sintéticos/ hidrogénio)?
- ◆ Soluções de Mobilidade – será que as motorizações eléctricas e híbridas se vão tornar dominantes nos novos veículos **ou** permanecerá o predomínio das motorizações convencionais com novos combustíveis e maior eficiência em paralelo com soluções híbridas?
- ◆ Formas da Oferta de Energia – será que soluções centralizadas de produção de electricidade e de mobilidade eléctrica (ex: ferroviária) permanecerão dominantes **ou** difundir-se-ão formas distribuídas de electricidade e/ou de produção de hidrogénio para soluções de mobilidade?

4.3. Seleccionando Quatro Cenários

Considerámos as Quatro incertezas, cada uma delas com as duas Configurações indicadas resultando da combinatória 16 combinações possíveis que constituem o espaço Morfológico da Cénarização (vd Quadro I). Seguidamente procedeu-se a uma análise no sentido de caminhar para um Espaço Morfológico Útil, excluindo as combinações que incluíssem pares de Configurações consideradas menos plausíveis.

Foram excluídas as Configurações que incluíam simultaneamente:

Produção Electricidade – MONOPRODUÇÃO
Oferta de Energia – DESCENTRALIZADA

por se considerar que soluções de monoprodução de electricidade com *mix* de energias primárias “Novo Élan dos Fósseis” quer com “Nuclear e Renováveis” serão mais compatíveis com soluções de oferta centralizadas de energia.

QUADRO I
ESPAÇO MORFOLÓGICO DA CENARIZAÇÃO REALIZADA

MIX ENERGIAS PRIMÁRIAS	GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOBILIDADE	MODO OFERTA DE ENERGIA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	MONORODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
NOVO ÉLAN DOS FÓSSEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	MONOPRODUÇÃO ELECTRICIDADE	MOTRORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES CONVENCIONAIS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	CENTRALIZADA
ASCENSÃO DO NUCLEAR+RENOVÁVEIS	CO-GERAÇÃO ELECTRICIDADE	MOTORIZAÇÕES ELÉCTRICAS+HÍBRIDAS	DESCENTRALIZADA

São ao todo doze combinações que não foram excluídas. Seleccionaram-se quatro como “ossaturas” de CENÁRIOS, ficando em aberto a discussão de outras combinações não consideradas para uma fase ulterior do exercício.

FIGURA X

AS QUATRO "OSSATURAS" DE CENÁRIOS ESCOLHIDAS



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

CENÁRIO I

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário I Combinação 1	Mix energias primárias Geração de Electricidade Mobilidade Formas de Oferta Energia	Novo Élan Fósseis Monoprodução Termomecânicas e Híbridas Centralizada

1) Os EUA, China e Índia mantêm o papel central do carvão na produção de electricidade centralizada, com soluções avançadas de gaseificação de carvão e de recurso a formas não convencionais de petróleo e gás natural com os EUA, Índia e a China avançam com soluções de utilização do *coal bed methane* para a produção de combustíveis sintéticos e os EUA avançam com o “fecho” do ciclo de utilização do carbono. As soluções *gas to liquid* generalizam-se como modo de aproveitar os jazigos de gás natural de menor dimensão.

2) Os países emergentes dotados de maior abundância de água, bem como os EUA apostam nos biocombustíveis como sucedâneo do petróleo.

3) As motorizações eléctricas não se difundem, mas assiste-se a uma evolução favorável na eficiência dos motores em paralelo com a crescente quota de mercado de motorizações híbridas nos países desenvolvidos.

Lógica Interna do CENÁRIO I

- ◆ Fraca inovação e
- ◆ Preocupações centradas na Segurança Energética;
- ◆ Preocupações com Sustentabilidade Ambiental limitadas – centradas na melhoria de eficiência na utilização dos combustíveis fósseis.

CENÁRIO II

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário II Combinação 8	Mix energias primárias Geração de Electricidade Mobilidade Formas de Oferta Energia	Novo Élan Fósseis Co-Geração Eléctricas e Híbridas Descentralizada

1) Os EUA, China, Índia, África do Sul lideram uma revolução na utilização do carvão, generalizando a gaseificação integrada para obter combustíveis sintéticos, electricidade e hidrogénio. Os projectos chinês *GREENGEN* e americano *FUTUREGEN* são um êxito. Qualquer destes países faz acompanhar esta revolução pela generalização de soluções de sequestração de CO₂.

2) Dá-se uma ruptura tecnológica com a possibilidade de recuperar o CO₂ emitido de forma centralizada e de realizar a sua posterior conversão em combustíveis sintéticos e a “economia do metanol” torna-se uma realidade.

3) O gás natural – acessível por via de um forte empenho dos detentores das maiores reservas em explorá-las – generaliza-se como solução ambientalmente menos nociva, de entre as que se baseiam em combustíveis fósseis.

4) Enquanto nas economias emergentes domina a produção centralizada de electricidade, nas economias desenvolvidas o gás natural serve de suporte a uma grande transformação no sector eléctrico com a difusão de soluções distribuídas de electricidade e calor.

5) Os combustíveis sintéticos combinam-se com as soluções de motorização eléctrica nos países desenvolvidos e generalizam-se a todo o mundo as soluções de motorização híbrida.

Lógica Interna do CENÁRIO II

- ◆ Forte Avanço da Inovação;
- ◆ a Sustentabilidade Ambiental é o principal *driver* da Inovação, através da utilização em larga escala do gás natural, pela generalização das tecnologias de captação e sequestração de CO₂, quer das motorizações híbridas;
- ◆ a Segurança Energética tem neste cenário uma importância menor do que no Cenário I devido à forte convergência de interesses entre os países detentores de maiores reservas de gás natural e as economias desenvolvidas que apostam na sua utilização;
- ◆ o controlo sobre a Intensidade Capitalista centra-se na difusão da produção descentralizada de electricidade e calor com base na rede de gás natural e nas *fuel cells* em utilizações estacionárias.

CENÁRIO III

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário III Combinação 9	Mix energias primárias Geração de Electricidade Mobilidade Formas de Oferta Energia	Nuclear e Renováveis Monoprodução Termomecânicas e Híbridas Centralizada

1) A revolução das tecnologias de utilização do carvão não tem o êxito que se esperava, mas as economias emergentes da Ásia continuam a recorrer em larga escala ao carvão com um acréscimo pronunciado de emissões de CO₂. As soluções nucleares de 3^a geração difundem-se nos países em desenvolvimento.

2) Nos países desenvolvidos a necessidade de reduzir as emissões de CO₂ leva a um reforço do nuclear no fornecimento às redes eléctricas centralizadas e das energias renováveis para o fornecimento de pontas diurnas.

3) Os países emergentes dotados de maior abundância de água, bem como os EUA apostam nos biocombustíveis como sucedâneo do petróleo.

4) As motorizações eléctricas não se difundem, mas assiste-se a uma evolução favorável na eficiência dos motores e na utilização de biocombustíveis.

Lógica Interna do CENÁRIO III

- ◆ Inovação Média, sobretudo na utilização das renováveis para a “economia do hidrogénio”;
- ◆ Preocupações com a Segurança Energética combinadas com Sustentabilidade Ambiental.

CENÁRIO IV

Cenários	Incerteza Crítica	Direcção
Cenário I Combinação 1	Mix energias primárias Geração de Electricidade Mobilidade Formas de Oferta Energia	Nuclear e Renováveis Co-Geração Eléctricas e Híbridas Descentralizada

1) O nuclear reforça a posição na oferta de electricidade a nível mundial; as tecnologias dos reactores a tório e dos reactores de alta temperatura refrigerados a gás fazem uma entrada mais rápida do que se esperava nos sistemas eléctricos dos EUA, Índia e China; estas tecnologias permitem obter electricidade centralizada, em soluções mais modulares e no caso dos reactores de alta temperatura, obter simultaneamente o hidrogénio a preços acessíveis.

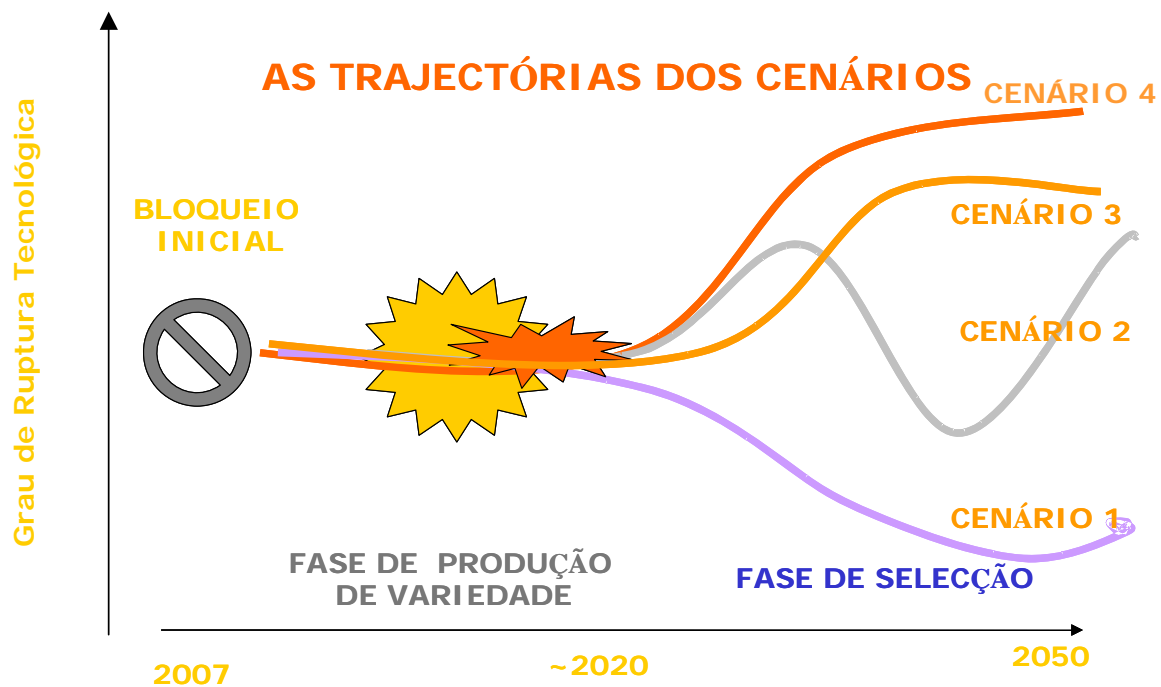
2) Assiste-se nos países desenvolvidos ao aumento exponencial da produção de electricidade eólica vocacionada para a produção descentralizada de hidrogénio graças a avanços inesperados na eficiência das baterias de electrólise, servindo este hidrogénio para alimentação de *fuel cells* em veículos de transportes públicos.

3) A motorização eléctrica – híbrida e a *fuel cells* – difunde-se quer nos países desenvolvidos, quer nas economias emergentes da Ásia. Soluções de mobilidade eléctrica individual como o *Segway* difundem-se com enorme rapidez substituindo as motorizadas como meio de transporte mais popular nas cidades.

4) As baterias recarregáveis permitem utilizar a electricidade às horas “mortas”, melhorando o grau de utilização das centrais eléctricas e contribuindo para difusão de soluções de motorização híbrida.

Lógica Interna do CENÁRIO IV

- ◆ Mais Forte Inovação no conjunto dos Cenários;
- ◆ *Driver* da Inovação centrada na Sustentabilidade Ambiental, mas permitindo responder simultaneamente a preocupações de Segurança Energética por parte das economias emergentes.



Fonte: Elaborado por DPP, 2008

III. ENERGIA & SUSTENTABILIDADE

– QUE REGIME PÓS-QUIOTO? –

1. RESTRIÇÕES NA OFERTA DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL E COMBATE ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS¹

A economia mundial encontra-se hoje sob **duas grandes pressões** que podem vir a condicionar a sua evolução no médio longo prazo:

- ◆ por um lado, a elevação dos preços do petróleo e gás natural para patamares muito mais elevados do que os que ocorreram na fase de rápido crescimento durante a década de 90; se for verdade que nos encontramos a poucas décadas do *peak oil* (seguidas por um *peak gas*) estão reunidas as condições para que **os países produtores** façam tudo para explorar esta situação de irreversibilidade em termos que lhes sejam altamente favoráveis;
- ◆ por outro lado, as efectivas alterações climáticas dão um maior peso aos que consideram que essas alterações são principalmente da responsabilidade da actuação humana e que nesta sobressai a queima de combustíveis fósseis com a consequente libertação de gases designados como sendo gases com efeito de estufa; cada vez é mais aceite que essas alterações climáticas só podem ter um sentido de evolução – agravamento – e que é possível definir o nível de controlo das emissões se quisermos que os aumentos de temperatura se situem em limites que não se arrisquem a provocar evoluções irreversíveis; daí a crescente popularidade de mecanismos de *cap and trade* como forma de impor uma efectiva redução de emissões para níveis considerados mais aceitáveis.

A conjugação e impacto cumulativo no mesmo período de tempo destas duas forças – nomeadamente se a segunda não tiver em conta os impactos da primeira em termos dos emissões – corre o risco de quebrar o crescimento mundial e, em particular, nos países desenvolvidos, já que é pouco plausível que as economias emergentes aceitem travar o seu crescimento – industrialização, urbanização e mobilidade motorizada – por razões que se prendem com alterações climáticas (tendo sempre o argumento de que são os países desenvolvidos que deverão incorrer nas maiores restrições).

Existem interacções evidentes entre estas duas forças, tendo em conta que:

- ◆ a manutenção dos preços de petróleo e gás natural num patamar mais elevado do que na década de 90 pode forçar a avanços na eficiência na utilização da energia nos países desenvolvidos e a uma reafecção do investimento nos países emergentes em favor de actividades menos intensivas em energia, ambos os movimentos contribuindo para uma redução nos níveis anuais de emissões de GEE's sem que esteja envolvido qualquer mecanismo específico dirigido às alterações climáticas;

¹ Texto da exclusiva responsabilidade de José Félix Ribeiro.

- ◆ mas, a manutenção de preços elevados de petróleo e gás natural poderá incentivar ainda mais a utilização do carvão – combustível mais abundante nas economias emergentes como a China e a Índia e nos EUA, o que com as actuais tecnologias disponíveis significará maiores emissões e maiores dificuldades de a nível global conseguir reduzir as emissões, não obstante as melhorias de eficiência referidas anteriormente.

Numa primeira aproximação poder-se-ia dizer que, neste contexto, qualquer mecanismo especificamente dirigido ao combate às alterações climáticas deveria incidir exclusivamente sobre a utilização do carvão sob a forma de queima, não no sentido de bloquear o uso deste combustível fóssil mas de orientar a sua utilização numa direcção mais sustentável.

2. AS LIMITAÇÕES ACTUAIS DAS TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS

No entanto, o problema com que se depara uma actuação dirigida às alterações climáticas não é tão simples. Com efeito, um aumento dos preços dos hidrocarbonetos em simultâneo com a fixação de um preço elevado para o CO₂ (*trade*) depois de definida a base de partida para redução das emissões (*cap*) **atingem o cerne do sistema energético actual sem que existam disponíveis as tecnologias que possam simultaneamente responder aos três desafios que se colocam a esse sistema num horizonte de longo prazo:**

- ◆ **Crescimento** – Assegurar a disponibilidade de Energia primária com elevada densidade e com modos de utilização com possibilidade de ganhos substanciais de eficiência, susceptível de suportar o crescimento das Economias Emergentes, economias densamente povoadas como a China, a Índia ou outras economias asiáticas;
- ◆ **Segurança Energética** – Reduzir a dependência dos países desenvolvidos do petróleo e gás natural de regiões turbulentas onde se concentram as principais reservas de petróleo e gás natural respeitando as exigências de não proliferação de armas nucleares;
- ◆ **Sustentabilidade Ambiental** – Caminhar para fontes de Energia Primária e formas de Transformação Energética menos agressivas para o ambiente e o clima.

A Figura I permite compreender com facilidade como é limitada actualmente a oferta de alternativas ao petróleo e ao gás natural. Com efeito:

a) Existem tecnologias energéticas que permitem compatibilizar **Crescimento & Eficiência** com “**Segurança Energética**” mas que estão distantes do vértice “**Sustentabilidade Ambiental**”. Tais são os casos de:

- ◆ formas não convencionais de petróleo e gás natural;

- ◆ tecnologias de gaseificação integrada de Carvão;
- ◆ tecnologias de obtenção de combustíveis líquidos sintéticos a partir de recursos energéticos sólidos ou gasosos.

b) Existem Tecnologias que permitem compatibilizar **“Crescimento & Eficiência”** com **“Sustentabilidade Ambiental”**, mas que estão longe do vértice **“Segurança Energética”** como são:

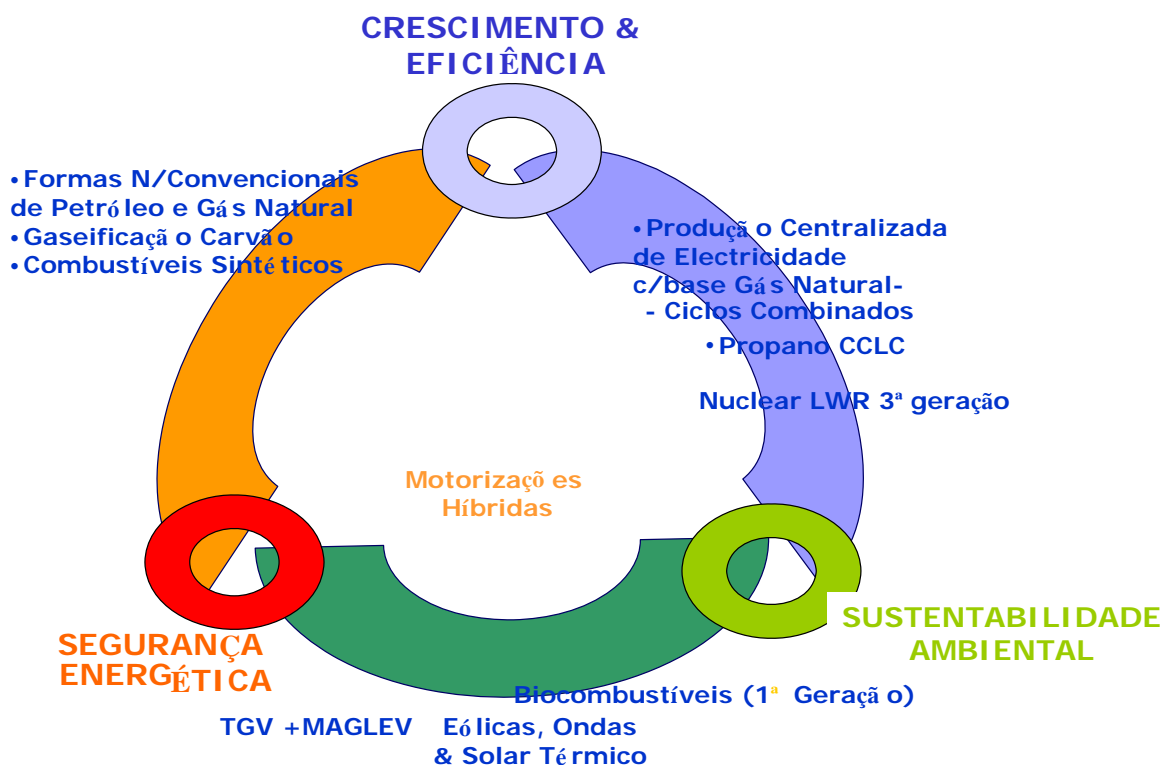
- ◆ as tecnologias de produção de electricidade nuclear de 3ª geração que continuam baseadas no enriquecimento do urânio e no ciclo de combustível nuclear desenvolvido para fins militares (explosivos e reactores para submarinos) e encontram as limitações de disponibilidade de urânio e os riscos de proliferação nuclear;
- ◆ as tecnologias que melhoram a eficiência das turbinas a gás dando um passo adiante das centrais de ciclo combinado.

c) Existem tecnologias que permitem compatibilizar **“Segurança Energética”** e **“Sustentabilidade Ambiental”**, mas que se encontram longe do vértice **“Crescimento”** pois nunca poderão aspirar a constituir uma componente significativa da energia nas economias em crescimento rápido ou maduras:

- ◆ as energias renováveis com base mecânica – hídricas, eólicas, ondas;
- ◆ as energias renováveis com base electrónica – o solar fotovoltaico;
- ◆ os biocombustíveis com base em espécies ricas em açúcar ou em óleos;
- ◆ os comboios de alta velocidade.

d) Mas existe um número reduzidíssimo de tecnologias que se aproxime do centro do triângulo, ou seja que satisfaçam as três exigências, sendo as **motorizações híbridas** candidatas a esta posição.

FIGURA I



Percebe-se, assim, que o que está em causa com a simultânea elevação do preço do petróleo e gás natural e a criação de restrições à utilização de combustíveis fósseis envolvendo a sua queima por razões climáticas é uma **mudança radical de paradigma energético à escala mundial** que demorará muitas décadas a concretizar-se e a difundir-se no planeta – não sabendo nós até que limite se poderá ir nas emissões sem causar danos irreparáveis.

Deveremos então pensar que existem **três níveis** fundamentais de desenvolvimento tecnológico para fazer face aos riscos envolvidos nas alterações climáticas e **que terão de encontrar financiamento adequado** sem que se queira precocemente reduzir a geração de variedade necessária.

1º NÍVEL – Deslocar as tecnologias que se posicionam ao longo de cada um dos lados do triângulo um pouco mais para o interior deste. Sem procurar ser exaustivo, e tendo em conta trabalhos realizados noutros contextos poderemos referir (Figura II):

a) Tecnologias com base no lado “Segurança Energética /Crescimento”

- ◆ Tecnologias de Captação e Sequestro de Carbono acopladas à Gaseificação Integrada de Carvão à utilização de formas não convencionais de petróleo para produção de combustíveis sintéticos;

- ◆ Tecnologias de Produção de electricidade distribuída em larga escala sob a forma de co-geração com calor, com base em *Fuel Cells* do tipo SOFC, utilizando gás natural ou gás de síntese.

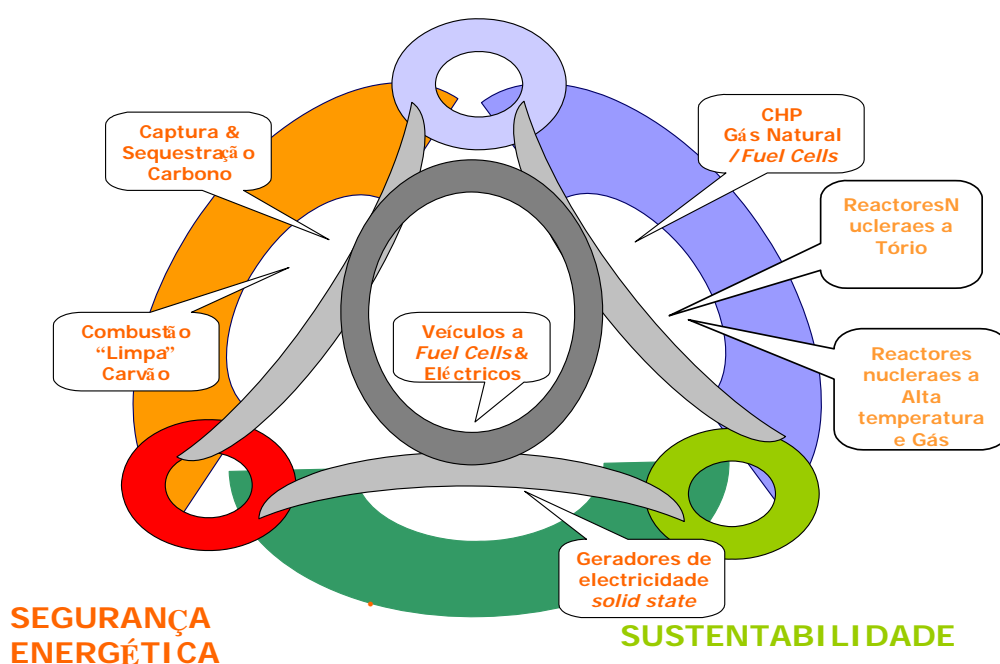
b) Tecnologias com base no lado “Sustentabilidade/Crescimento”

- ◆ Tecnologia dos reactores nucleares funcionando a tório e ciclo do combustível nuclear próprio;
- ◆ Tecnologias dos reactores nucleares de Alta Temperatura arrefecidos a gás para produção de electricidade e hidrogénio;
- ◆ Tecnologias de Produção de electricidade distribuída em larga escala com base em *Fuel Cells* do tipo SOFC utilizando gás natural ou gás de síntese.

c) Tecnologias com base no lado “Segurança Energética /Sustentabilidade

- ◆ Motorizações híbridas e eléctricas com base em *fuel cells* e (eventualmente a metanol) e em baterias recarregáveis na rede (*plug in*) que numa fase inicial são pouco acessíveis às economias emergentes, mas permitirão grandes ganhos de eficiência energética na mobilidade dos países desenvolvidos.

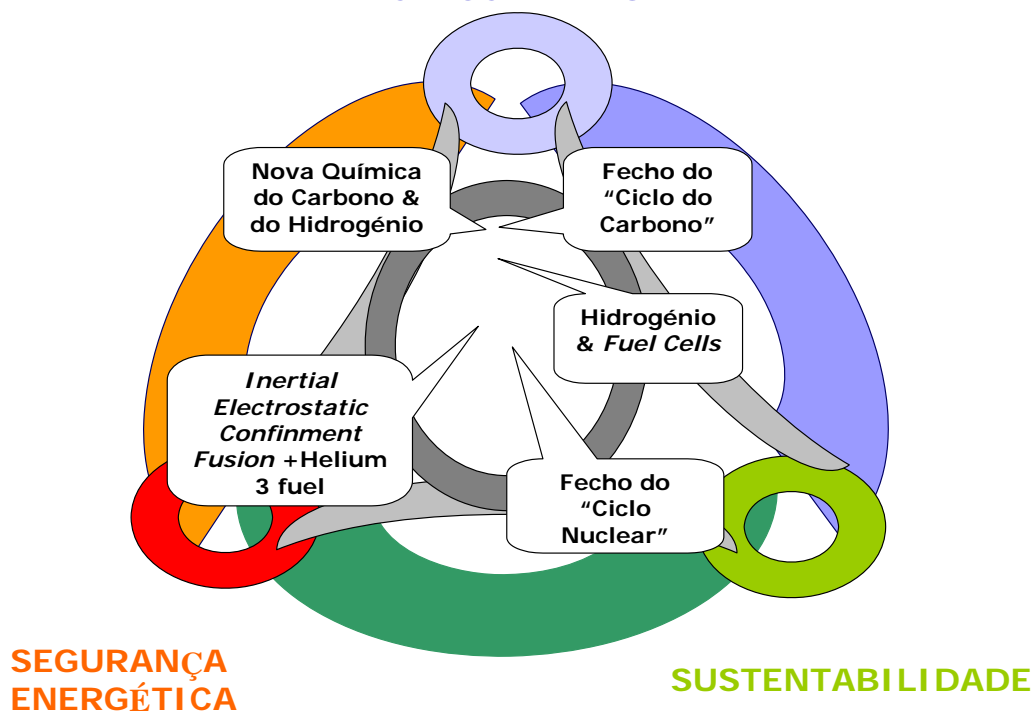
FIGURA II
CRESCIMENTO



2º NÍVEL – Desenvolver os conceitos tecnológicos que se localizem claramente no centro do triângulo

- ◆ as tecnologias que permitam utilizar os combustíveis fósseis de forma mais sustentável alterando o *mix* do que se pretende obter com eles – como por exemplo as tecnologias que permitam extrair do gás natural combustíveis mais ricos em hidrogénio utilizáveis em *fuel cells* e materiais ricos em carbono, sob a forma de nanotubos de carbono (para fins estruturais ou funcionais);
- ◆ as tecnologias que permitam “fechar” o “ciclo do carbono antropogénico ou seja que atribuam uma utilidade mercantil ao CO₂ libertado nos actuais processos de produção, utilizando-o por exemplo na produção de combustíveis sintéticos mais ricos em hidrogénio (vd. proposta da “economia do metanol”);
- ◆ as tecnologias que permitam fechar o “ciclo nuclear” permitindo reduzir os resíduos e afastar as limitações na oferta de minérios radioactivos, mas sem cair na “economia do plutónio”;
- ◆ e, sobretudo, as tecnologias da fusão nuclear mais inovadoras como as que se baseiam no Hélio 3 e no confinamento inercial electrostático.

FIGURA III
CRESCIMENTO



3º NÍVEL - Desenvolver as tecnologias que permitam fazer o “hedging” face a evoluções incontroladas do clima que possam pôr em risco a humanidade

Estas tecnologias são essencialmente de dois tipos:

- ◆ as tecnologias que permitam fazer face a riscos acrescidos devido a elevação das temperaturas – dos quais o maior é o da libertação de metano do *permafrost*; o que envolve o desenvolvimento das tecnologias de processamento desse metano (existente sob a forma de hidratos) o que asseguraria uma libertação futura da humanidade das restrições na disponibilidade de combustíveis fósseis mas exigiria, como é óbvio, os desenvolvimentos anteriores quanto à sua utilização sustentável;
- ◆ as tecnologias que permitam por Geoengenharia “arrefecer” o planeta durante a fase em que as novas tecnologias dos níveis anteriores estão em concepção, desenvolvimento e difusão.

3. COMO FINANCIAR O DESENVOLVIMENTO DAS TECNOLOGIAS QUE PERMITAM COMBATER NO LONGO PRAZO AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS?

A sugestão que fazemos é que seja através de mecanismos fiscais inicialmente incidindo apenas nos países desenvolvidos que definiriam um nível comum de tributação. Mas não com o objectivo de aumentar as receitas fiscais dos Estados – pelo contrário apontando para sua redução – mas sim de aumentar exponencialmente a poupança forçada das economias desenvolvidas orientada para o desenvolvimento tecnológico na área energética. E como?

Os impostos a recolher pelo Estado, em proporção da queima de combustíveis fósseis, poderão ser reduzidos a zero pela aplicação por parte dos contribuintes das quantias tributáveis numa (ou várias) das seguintes modalidades:

- ◆ investimento em tecnologias que aumentem a eficiência energética nas actividades em que os contribuintes operam;
- ◆ investimento em fundos de capital de risco que financiem o desenvolvimento de tecnologias incluídas nos níveis 1 e 2 referidos atrás;
- ◆ tomada de acções em consórcios criados pelos Estados para desenvolver as tecnologias incluídas nos níveis 2 e 3.

No caso europeu a parte da actual carga fiscal sobre o consumo de combustíveis pelo sector automóvel – que não possa ser considerado como financiamento das infra-estruturas rodoviárias – deveria ser incluído neste regime por forma a reduzir ao máximo o aumento da carga fiscal total.



Uma solução deste tipo poderia ser vista como alternativa aos mecanismos de comércio de emissões, hoje propostos na União Europeia, enquanto não existisse uma “variedade” significativa de tecnologias que permitam efectivamente reduzir as emissões de forma sustentada. Alternativa que permitisse garantir a concentração dos esforços de I&D e inovação dos países desenvolvidos em tecnologias-chave para a mudança de paradigma energético e não em tecnologias marginalmente úteis para o combate às alterações climáticas – como as energias renováveis ou os biocombustíveis – que parecem reunir as preferências na União Europeia.